

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК 620.179

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ А. Г., Протасов
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему: «Дослідження вихрострумкових дефектоскопів на базі синтезатора частоти»

Виконав:
студент 6 курсу, групи ПК-61м
Ходневич С. В.

Керівник:
к.т.н., доц.
Баженов В. Г.

Консультант з розробки стартап-проекту:
к.е.н., доц.
Бояринова К.О.

Рецензент:
к.т.н., доц.
Сокуренко В. М.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет

Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою
Спеціальність (спеціалізація) – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю).

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А. Г., Протасов
«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Ходневичу Сергію Васильовичу

1. Тема дисертації «Дослідження вихрострумових дефектоскопів на базі синтезатора частоти», науковий керівник дисертації Баженов Віктор Григорович к.т.н., доц., затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження: процес отримання сигналів, при вихрострумовому контролі, та визначення їх інформативних параметрів (фази та амплітуд).
4. Предмет дослідження: методи та засоби обробки сигналів, для підвищення точності та швидкодії визначення параметрів при вихрострумовому контролі.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: зробити огляд готових приладів; дослідити методи виділення корисної інформації сигналу; розробити структурну схему приладу та порівняти її з існуючими; розробити макет приладу та провести дослідження; провести моделювання впливу завадостійкості на точність ортогонального методу виміру.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1 – назва, предмет, об'єкт дослідження, мета роботи, завдання; 2 - результати дослідження серійних приладів на стандартних зразках; 3 – структурна схема

дефектоскопу та результати дослідження макету приладу; 4 – результати моделювання впливу завадостійкості на точність методу виміру.

7. Орієнтовний перелік публікацій: дві статті, три тези

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проекту	Бояринова К.О., к.е.н., доц.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формування завдання магістерської дисертації	01.10.2016	Виконано
2	Проведення аналітичного огляду вихрострумової дефектоскопії	15.12.2016	Виконано
3	Визначення інформативних параметрів при вихрострумовому контролі та методів виділення корисної інформації	01.03.2017	Виконано
4	Огляд готових дефектоскопів	20.05.2017	Виконано
5	Дослідження серійних приладів на стандартних зразках	01.11.2017	Виконано
6	Розробка структурної схеми та макету приладу	25.01.2018	Виконано
7	Дослідження макету приладу	01.03.2018	Виконано
8	Моделювання впливу завадостійкості на точність ортогонального методу виміру	01.04.2018	Виконано

Студент

С. В., Ходневич

Науковий керівник дисертації

В. Г., Баженов

Реферат

Дана магістерська дисертація складається з 82 сторінки, 50 ілюстрацій, 35 таблиць та 24 літературних посилань.

В даній дисертації розглянуті особливості використання ортогональних методів вимірювання параметрів сигналів при проектуванні вихрострумових дефектоскопів на базі мікроконтролерів. Аналізується запропонована авторами нова структура дефектоскопа, яка складається з одного вимірювального каналу, та реалізує ортогональний метод вимірювання, має дуже мале енергоспоживання, малі габарити і відповідну вартість. Проведені експериментальні дослідження запропонованої структури вихрострумового дефектоскопу на спеціальному експериментальному макеті, де за допомогою високоточного синтезатора сигналів SDG102, фірми SIGLENT, проводилась імітація можливих дефектів які можуть призводити як до зміни фази так і амплітуди вимірювального сигналу, що підтвердило високі метрологічні можливості цієї структури.

Для дослідження залежності точності визначення параметрів амплітуди та фази інформаційного сигналу, отриманого у вихрострумовому контролі при використанні запропонованого ортогонального методу обробки було проведено моделювання в пакеті програм Matlab, яке підтвердило високу точність визначення вищеназваних параметрів сигналу для різних співвідношень сигнал/шум.

Мета роботи: полягає у дослідженні можливостей розробки вихрострумових дефектоскопів на мікроконтролерах, з малим енергоспоживанням та невисокою вартістю.

Об'єкт дослідження – процес отримання сигналів, при вихрострумовому контролі, та визначення їх інформативних параметрів (фази та амплітуд).

Предмет дослідження – методи та засоби обробки сигналів, для підвищення точності та швидкодії визначення параметрів при вихрострумовому контролі.

Ключові слова: Вихрострумовий дефектоскоп, ортогональний метод, синтезатор частоти, вихрострумовий перетворювач, LabVIEW.

Abstract

This master's thesis consists of 85 pages, 50 illustrations, 35 stamps and 24 literary references.

In this dissertation features of the use of orthogonal methods of measuring signal parameters during the design of eddy-current flaw detectors based on microcontrollers are considered. The author analyzes the new structure of a flaw detector, which consists of one measuring channel, and implements an orthogonal measurement method, has very low power consumption, small dimensions and corresponding cost. Experimental investigations of the proposed structure of the eddy current flaw detector on a special experimental model were carried out, where simulation of possible defects that could result both in phase change and amplitude of the measurement signal with the help of the high-precision synthesizer of signals SDG102, firm SIGLENT was carried out, which confirmed the high metrological capabilities of this structure.

To study the dependence of the accuracy of the determination of the parameters of the amplitude and phase of the information signal obtained in the vortex current control using the proposed orthogonal processing method, a simulation was performed in the Matlab software package, which confirmed the high accuracy of the determination of the above parameters of the signal for different ratios of signal / noise.

The purpose of the work is to explore the possibilities of developing eddy-current flaw detectors on microcontrollers, with low power consumption and low cost.

The object of the research is the process of obtaining signals in the eddy current control, and determining their informative parameters (phases and amplitudes).

Subject of research - methods and means of signal processing, to improve the accuracy and speed of determination of parameters in eddy current control.

Keywords: eddy current flaw detector, orthogonal method, frequency synthesizer, eddy current converter, LabVIEW.

Зміст

Вступ.....	7
1. Аналітичний огляд.....	9
1.1 Загальна характеристика вихрострумового контролю.....	9
1.2 Розподіл вихрових струмів.....	13
1.3 Практичні використання вихрових струмів в дефектоскопії.....	15
1.4 Класифікація вихрострумових перетворювачів.....	17
1.5 Інформативні параметри вихрострумового контролю.....	21
1.6 Методи виділення корисної інформації.....	23
1.7 Годографи на комплексній площині.....	24
1.8 Вплив властивостей матеріалів і параметрів об'єктів контролю на сигнал вихрострумового датчика.....	27
2 Огляд готових приладів.....	30
2.1 Вихрострумового дефектоскопа ВДЗ-71.....	30
2.2 Дефектоскоп ВД 3-81 Eddycon.....	33
2.3 Дефектоскоп вихрострумовий портативний Eddycon C.....	36
3. Розробка структурної схеми.....	42
4. Макет вихрострумового дефектоскопу.....	46
4.1 Опис експерименту.....	48
4.2 Дослідження серійних приладів на стандартних зразках.....	51
5. Спектральні складові сигналів ВСП.....	56
6. Дослідження завадостійкості ортогонального методу виміру.....	58
7. Розробка стартап-проекту.....	62
Висновок.....	78
Список використаної літератури.....	80

Вступ

Неруйнівний контроль (НК, англ. Nondestructive testing (NDT)) - контроль якості продукції, за якого не повинна бути порушена придатність щодо застосування із повним збереженням закладених із самого початку функцій.

Поява сучасних великомасштабних об'єктів - атомних електростанцій, терміналів із зрідженим газом, морських бурових установок, великих хімічних комбінатів, великих авіалайнерів разом з економічними вигодами привело до великих негативних наслідків у разі виходу їх з ладу. Людство не може відмовитися від таких споруд але воно може запобігти катастрофам або зменшити їх наслідки шляхом ефективного використання методів і засобів неруйнівного контролю і технічної діагностики.

Дефекти матеріалу супроводжують деталь протягом усього періоду існування. Вони можуть з'явитися: на стадії одержання заготовки (дефекти лиття, дефекти кування або прокатки); на стадії виготовлення (дефекти обробки, загартування); на стадії експлуатації (утомні тріщини, крихке і в'язке руйнування). При цьому найчастіше дефекти виготовлення, не виявлені вчасно, реалізуються на стадії експлуатації, приводячи до раптових відмовлень, зупинок і простоїв устаткування.

Численними дослідженнями встановлено, що деталі, піддані циклічним навантаженням, 90...97% часу терміну служби працюють при наявності і розвитку дефектів. Навіть крихке руйнування не відбувається миттєво, а займає визначений проміжок часу з моменту зародження дефекту. Таке поступове нагромадження ушкоджень у матеріалі деталі дозволяє контролювати її стан, використовуючи методи неруйнівного контролю. Використання цих методів дозволяє не тільки знайти дефекти, але й оцінити небезпеку ушкодження, а також визначити причину виникнення дефекту. Знання причини дозволяє, змінивши технологію виробництва, виключити можливість появи подібних дефектів [1].

Мета роботи: полягає у дослідженні можливостей розробки вихрострумових дефектоскопів на мікроконтролерах, з малим енергоспоживанням та невисокою вартістю.

Об'єкт дослідження – процес отримання сигналів, при вихрострумовому контролі, та визначення їх інформативних параметрів (фази та амплітуд).

Предмет дослідження – методи та засоби обробки сигналів, для підвищення точності та швидкодії визначення параметрів при вихрострумовому контролі.

У даній магістерській роботі розглянуто особливості використання ортогональних методів вимірювання параметрів сигналів при проектуванні вихрострумових дефектоскопів (ВД) на базі мікроконтролерів. Аналізується запропонована авторами нова структура дефектоскопа, яка має один вимірювальний канал, реалізує ортогональний метод вимірювання, має дуже мале енергоспоживання, малі габарити і відповідну вартість. Проведені експериментальні дослідження запропонованої структури ВД на спеціальному експериментальному макеті, де за допомогою високоточного синтезатора сигналів SDG102, фірми SIGLENT, проведено імітацією можливих дефектів які можуть призводити, як до зміни фази так і амплітуди вимірювального сигналу, що підтвердило високі метрологічні можливості цієї структури.

1 Аналітичний огляд

1.1 Загальна характеристика вихрострумового контролю

Вихрострумовий контроль є одним із найпоширеніших на даний час. Вихрострумові методи ґрунтуються на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться збуджуючою котушкою в електропровідному об'єкті контролю. Щільність вихрових струмів в об'єкті залежить від геометричних і електромагнітних параметрів об'єкту, а також від взаємного розташування вимірювального вихрострумового перетворювача і об'єкту. Як перетворювач використовують зазвичай індуктивні котушки (одну або декілька). Синусоїдальний (чи імпульсний) струм, діючий в котушках ВСП, створює електромагнітне поле, яке збуджує вихрові струми в електропровідному об'єкті. Електромагнітне поле вихрових струмів впливає на котушки перетворювача, наводячи в них ЕРС або змінюючи їх повний електричний опір. Регіструючи напругу на затисках котушки або її опір, отримують інформацію про властивості об'єкту і про положення перетворювача відносно нього (рис.1.) [1].

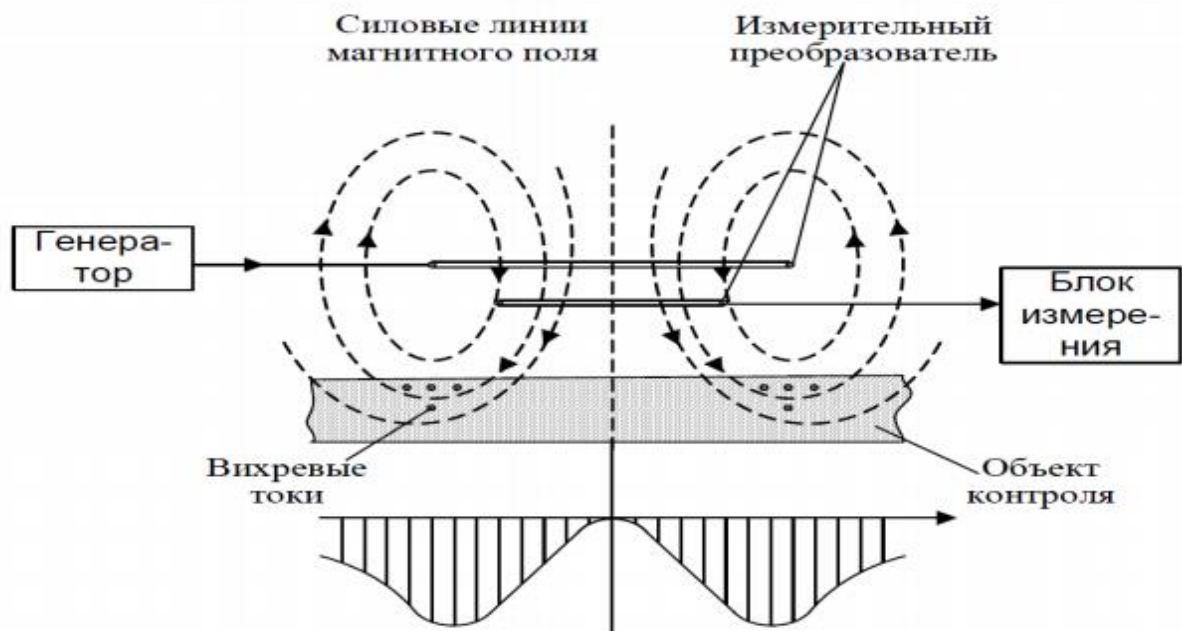


Рис. 1. Загальна схема вихрострумового контролю.

ЕРС (чи опір) перетворювача залежить від багатьох параметрів об'єкту контролю, тобто інформація, що представляється сигналом перетворювача, являється багатопараметровою. Це визначає як перевагу, так і труднощі реалізації вихрострумових методів. З одного боку, ВСМ дозволяють здійснити багатопараметровий контроль; з іншого, вимагаються спеціальні прийоми для розподілу інформації про окремі параметри об'єкту. При контролі одного з параметрів вплив інших на сигнал перетворювача стає таким, що заважає, тому цей вплив необхідно пригнічувати.

Особливість вихрострумового контролю в тому, що його можна проводити без контакту перетворювача і об'єкту. Їх взаємодія відбувається зазвичай на відстанях, достатніх для вільного руху перетворювача відносно об'єкту (від доль міліметра до декількох міліметрів). Тому цими методами можна отримувати добрі результати контролю навіть при високих швидкостях руху об'єктів.

Отримання первинної інформації у вигляді електричних сигналів, безконтактність і висока продуктивність визначають широкі можливості автоматизації вихрострумового контролю.

Одна з особливостей ВСМ полягає в тому, що на сигнали перетворювача практично не впливають вологість, тиск і забрудненість газового середовища, радіоактивні випромінювання, забруднення поверхні об'єкту контролю непровідними речовинами.

Простота конструкції перетворювача - ще одна перевага ВСМ. В більшості випадків котушки поміщають в запобіжний корпус і заливають компаундами. Завдяки цьому вони стійкі до механічних і атмосферних дій, можуть працювати в агресивних середовищах, в широкому інтервалі температур і тисків.

ВСМ засновані на збудженні вихрових струмів, а тому застосовуються в основному для контролю якості електропровідних об'єктів: металів, сплавів, графіту, напівпровідників. Їм властива мала глибина зони контролю, визначувана завглибшки проникнення електромагнітного поля в контрольоване середовище.

Незважаючи на вказані обмеження, ВСМ широко застосовують для дефектоскопії, визначення розмірів і структуроскопії матеріалів і виробів.

У дефектоскопії за допомогою ВСМ виявляють дефекти типу неоднорідностей, що виходять на поверхню або залягають на невеликій глибині (у електропровідних листах, прутках, трубах, дроті, залізничних рейках, дрібних деталях і так далі), наприклад різноманітні тріщини, розшарування, заходи, раковини, неметалічні вclusions і так далі. При сприятливих умовах і малому впливі чинників, що заважають, вдається виявити тріщини завглибшки 0,1 .. 0,2 мм, протяжністю 1 .. 2 мм (при використанні накладного перетворювача) або протяжністю близько 1 мм і завглибшки 1 .. 5 % від діаметру контрольованого дроту або прутка (при використанні перетворювача прохідного) [4].

ВСМ дозволяють успішно вирішувати завдання контролю розмірів виробів. Цими методами вимірюють діаметр дроту, прутків і труб, товщину металевих листів і стінок труб при односторонньому доступі до об'єкту, товщину електропровідних (наприклад, гальванічних) і діелектричних (наприклад, лакофарбних) покриттів на електропровідних підставах, товщину шарів багатошарових структур, що містять електропровідні шари. Вимірювана товщина може змінюватися в межах від мікрометрів до десятків міліметрів. Для більшості приладів погрішність виміру 2 .. 5 %. Мінімальна площа зони контролю може бути доведена до 1 мм, що дозволяє вимірювати товщину покриття на малих об'єктах складної конфігурації. За допомогою ВСМ вимірюють проміжки, переміщення і вібрації в машинах і механізмах.

Структурний стан металів і сплавів впливає на їх електричні і магнітні характеристики. Завдяки цьому виявляється можливим контролювати не лише однорідність хімічного складу, але і структуру металів і сплавів, а також визначати механічну напругу. Широко застосовують вихрострумові вимірювачі питомої електричної провідності і інші прилади для сортування металевих матеріалів і графіту по марках (по хімічному складу). За допомогою вихрострумових приладів контролюють якість термічної і хіміко-термічної обробки деталей.

В основі роботи вихрострумового дефектоскопа закладений метод вихрових струмів. Контроль методом вихрових струмів аналогічний явищам індуктивно пов'язаних контурів. Одним з індуктивно пов'язаних контурів є контрольований виріб, іншим - котушка перетворювача. Під дією електромагнітного поля перетворювача виникає ЕРС, яка створює в металі вихрові струми, електромагнітне поле яких, взаємодіючи з контуром перетворювача, змінює комплексний опір останнього.

Вимірюючи дію вихрових струмів, отримують дані про властивості досліджуваного матеріалу. Величина вихрових струмів в металі залежить від багатьох чинників, у тому числі від електропровідності металу і від відстані між перетворювачем і металом. Наявність дефекту в поверхневому шарі металу еквівалентна зміні його електропровідності.

Векторні зміни напруги на котушці вихрострумового перетворювача, що залежать від таких факторів, як вплив зазору, дефектів структури контрольованого матеріалу розташованих ближче чи далі від поверхні мають сталі для даного типу матеріалу фазові зсуви відносно струму на котушці.

Одночасне визначення дефекту товщини покриття та наявності дефектів структури матеріалу реалізується на основі алгоритмів вихрострумового багатопараметрового контролю. Векторна діаграма напруги ВСП (Рис. 1.1) являє собою напрямки впливу зазору та можливого дефекту матеріалу – вектори P_1 та P_2 . Кутові напрямки цих векторів впливу відносно вектору струму (кути a та b), що протікає через ВСП, для даної частоти струму і матеріалу є сталими величинами, які легко визначити експериментально.

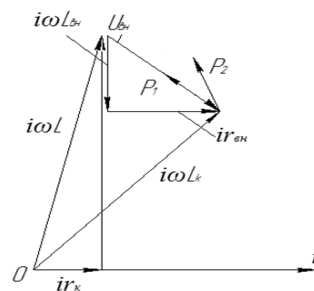


Рис.1.1. Векторна діаграма напруг вихрострумового перетворювача

Для можливості визначення відносно невеликих векторів напруг P_1 , P_2 доцільно виконати компенсацію напруги $U_{роб}$ - напруги на ВСП в робочому режимі (при взаємодії електромагнітного поля котушки ВСП з полем вихрових струмів в середовищі матеріалу об'єкту контролю).

Для можливості компенсації вектора напруги $U_{роб}$ використовуємо ще один ВСП, що постійно своїм полем взаємодіє з еталонним зразком ОК, або встановлюється на бездефектному місці на ОК.

Роздільне вимірювання можливих дефектів ОК та товщини ґрунтується на тому, що вектори впливу P_1 , P_2 мають наперед задані кутові напрямки відносно вектору струму ВСП або відносно фази напруги генератору. Для такого вимірювання виконується фазове детектування напруг спричинених дефектами чи зазором [1].

1.2 Розподіл вихрових струмів

Вихрові струми (струми Фуко) це замкнуті електричні струми, що виникають в обсязі струмопровідного матеріалу під впливом змінного магнітного потоку. Вихрові струми це індукційні струми та на відміну від струмів, що протікають у провідниках по визначених напрямкам, замикаються в обсязі струмопровідного середовища, як правило, по кільцевих (вихрових) траєкторіях.

Основним параметром вихрових струмів є їх щільність.

Площина вихрових струмів завжди перпендикулярна напрямку, що викликає їх магнітний потік. Якщо магнітний потік пронизує плоский провідник нормально його площини, як показано на рис. 1.2 а, то в провіднику виникають вихрові токи. У випадку, якщо магнітний потік пронизує провідник вздовж його площини, як показано на рис. 1.2 б - вихрові струми не виникають [3].

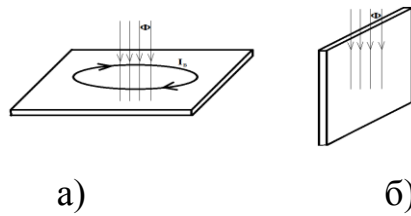


Рис. 1.2. Збудження вихрових струмів в плоскому провіднику: магнітний потік спрямований нормально площині провідника і викликає виникнення вихрових струмів (а), магнітний потік спрямований уздовж площини провідника, вихрові струми не виникають (б).

Щільність вихрових струмів в масиві струмопровідних матеріал не рівномірна (рис. 1.3). Розподіл вихрових струмів за обсягом струмопровідного середовища супроводжується зміною амплітуди і фази. Так при збудженні вихрових струмів в листі металу котушкою в якій протікає по її виткам струм максимальна щільність вихрових струмів буде спостерігатися в поверхневому шарі об'єкта безпосередньо під витками котушки. При віддаленні уздовж поверхні від витків котушки щільність вихрових струмів буде зменшуватися за законом близьким до експоненціального. Також зі збільшенням глибини вихрові струми більше відстають по фазі від поверхневих.

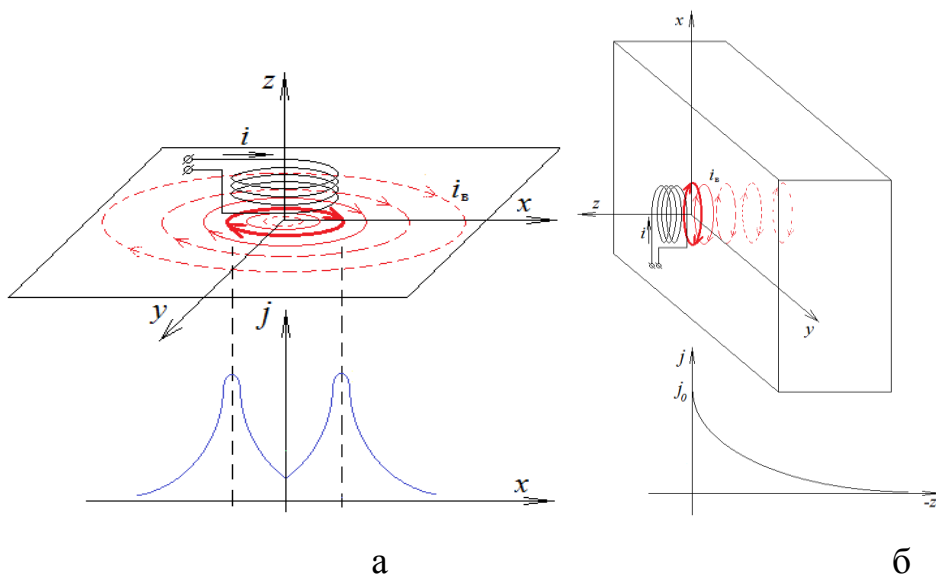


Рис. 1.3. Розподіл щільності вихрових струмів в струмопровідному середовищі: в поверхневому шарі (а); по глибині об'єкта (б)

При аналізі розподілу вихрових струмів по глибині об'єкта можна спостерігати зменшення амплітуди зі зростанням глибини, по експоненціальному закону:

$$j = j_0 \cdot e^{-mz},$$

де j_0 - щільність вихрових струмів на поверхні об'єкта, m - коефіцієнт загасання, залежить від електромагнітних властивостей об'єкта і частоти струму котушки. Також спостерігається зміна фази вихрових струмів. Зі збільшенням глибини фаза струму в більш глибоких шарах все більше відстає від струму в поверхневому шарі [3].

Глибина вихрових струмів залежить від величини збуджуючого їх магнітного потоку, частоти збудження і електромагнітних властивостей матеріалу об'єкта. Для оцінки глибини вихрових струмів використовують відносну величину - умовну глибину проникнення вихрових струмів. Умовна глибина проникнення вихрових струмів - це відстань від поверхні об'єкта контролю (де спостерігається максимальна щільність вихрових струмів) до шару в якому щільність зменшується в e раз ($e \approx 2,71$):

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \mu_0 \sigma}},$$

де f - частота струму збудження, μ_0 - абсолютна магнітна проникність матеріалу об'єкта, σ - питома електрична провідність матеріалу об'єкта.

Умовна глибина не залежить від величини магнітного потоку (геометрії збуджуючої котушки, наявності сердечника, зазору між котушкою і об'єктом). Зі збільшенням частоти збудження глибина проникнення вихрових струмів зменшується. Вихрові струми виштовхуються до поверхні об'єкту. Такий же ефект спостерігається при збудженні вихрових струмів в феромагнітних матеріалах (конструкційних сталях), у яких вплив магнітної проникності на глибину проникнення в багато разів більше ніж вплив питомої електричної провідності, як правило меншою ніж у міді, алюмінію і сплавів на їх основі [4].

1.3 Практичні використання вихрових струмів в дефектоскопії

Основним об'єктом пошуку при контролі деталей, що знаходяться в експлуатації, є втомна тріщина, яка як правило, виходить на поверхню. Геометричні параметри тріщини характеризуються: довжиною L - максимальний поздовжній розмір дефекту, видимий на поверхні контролю, шириною розкриття B - поперечний розмір дефекту у його виходу на поверхню, глибиною H - розмір дефекту у напрямку всередину від поверхні контролю. Так як часто дефекти бувають складної форми, розрізняють максимальну, мінімальну, середню, сумарну величину цих параметрів.

Для під поверхневих дефектів (наприклад типу пора) важливим параметром є не тільки геометричні параметри (наприклад діаметр) але і відстань від поверхні $-Z$ - глибина залягання. Геометричні розміри дефектів приведені на рис.1.3.1

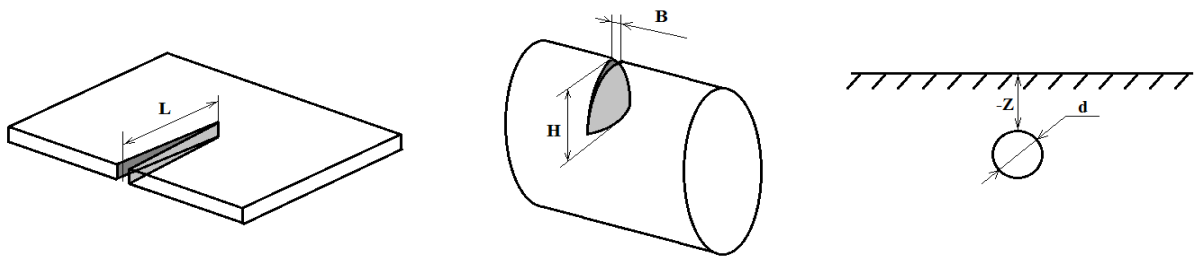


Рис 1.3.1. Геометричні розміри дефектів. L - довжина; B - ширина розкриття; H - глибина; $-Z$ - глибина залягання; d – діаметр

При проведенні вихрострумової дефектоскопії, для вибору оптимальних параметрів контролю, важливо розрізняти напрямок розвитку дефекту. З цієї точки зору розрізняють поздовжні або поперечні (щодо поздовжньої осі об'єкта контролю або напрямку сканування перетворювача) тріщини. Орієнтація дефекту щодо поздовжньої осі об'єкта контролю приведена на рис. 1.3.2 [3].

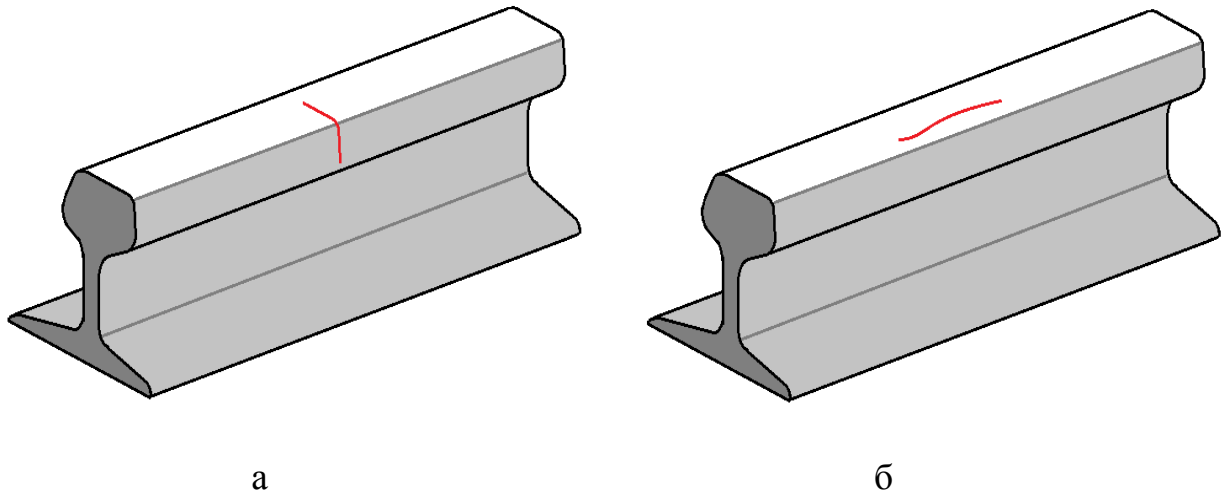


Рис. 1.3.2. Орієнтація дефекту щодо поздовжньої осі об'єкта контролю:
поперечна тріщина (а), поздовжня тріщина (б)

1.4 Класифікація вихрострумів перетворювачів

Котушка індуктивності - електротехнічний пристрій, що складається з намотаних на каркас з діелектричного матеріалу витків мідного дроту і володіє значною індуктивністю при відносно малому активному опорі і володіє малою ємністю.

При аналізі роботи котушки в електричному ланцюзі необхідно враховувати її повний опір Z , що включає індуктивну складову X_L (залежить від геометричних розмірів котушки, числа витків і наявності феромагнітного сердечника), активну складову R (опір мідного дроту, з урахуванням довжини і перетину), а в деяких випадках і ємнісну складову X_C (з урахуванням міжвиткової ємності). Схема заміщення котушки індуктивності приведена на рис.1.3.3.

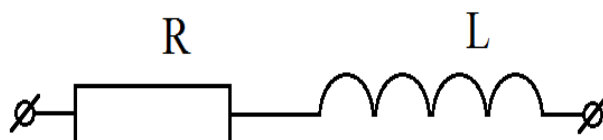


Рис.1.3.3. Схема заміщення котушки

Активний опір визначається як:

$$R = \frac{\rho l}{s},$$

де ρ - питомий опір міді, l - довжина дроту, s - площа перетину дроту.

Індуктивний опір визначається як:

$$X_L = \omega L,$$

де $\omega = 2\pi f$ - кругова частота, що залежить від частоти f струму в котушці, L - індуктивність котушки.

Установка всередину котушки феромагнітного сердечника дозволяє різко збільшити її індуктивність, так як магнітна проникність феромагнетика набагато більше ніж у повітря.

Крім цього, надавши сердечника необхідну форму, можна сформувати магнітний потік (який створює котушка) необхідної конфігурації. Форма магнітного потоку сформована котушкою приведена на рис.1.3.4 [3].

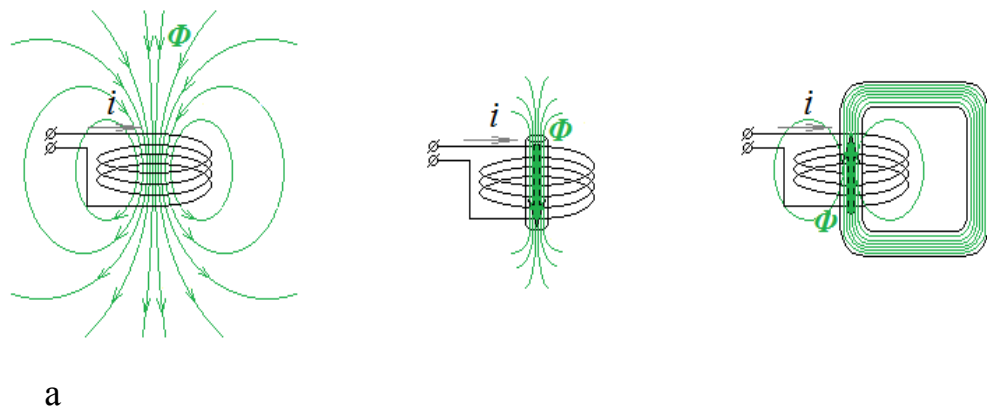


Рис.1.3.4. Магнітний потік сформований котушкою без сердечника (а), з сердечником (б), із замкнутим сердечником (в)

За типом перетворення параметрів ОК у вихідний сигнал, ВСП поділяються на параметричні та трансформаторні. Перевагою параметричних ВСП є їх простота, а недоліком - залежність вихідного сигналу від температури перетворювача. Такий недолік набагато менше виражений у трансформаторних ВСП. За способом з'єднання котушок ВСП діляться на абсолютні та диференційні. Абсолютним називають ВСП (рис. 2.1а), вихідний сигнал якого

визначається абсолютним значенням параметрів ОК в зоні контролю. Диференційним прийнято називати сукупність 2-х ВСП, обмотки яких з'єднані таким чином (рис.1.4.б), що вихідний сигнал визначається різницею параметрів ОК відповідних зон контролю.

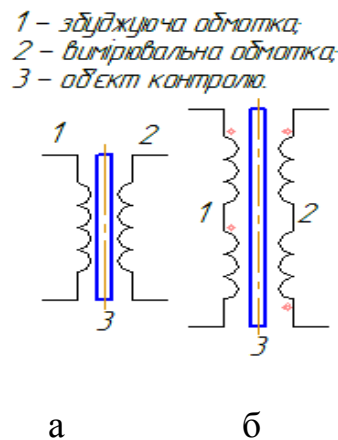


Рис. 1.4. Абсолютний (а) та диференційний (б) трансформаторний ВСП.

В залежності від розташування ВСП по відношенню до ОК їх ділять на прохідні, накладні та комбіновані. Прохідні ВСП приведені на рис. 1.4.1.

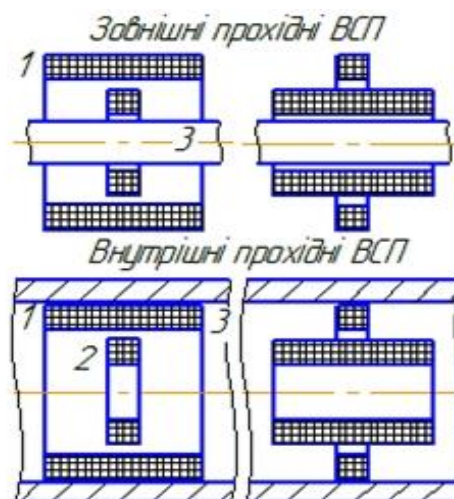


Рис. 1.4.1. Прохідні ВСП.

Прохідні ВСП (рис.1.4.1) діляться на зовнішні, внутрішні, занурені та екранні. Основною особливістю зовнішніх ВСП являється те, що вони охоплюють весь ОК. Котушки внутрішніх ВСП вводяться всередину ОК, частіше за все використовуються для контролю труб. Занурювані ВСП використовують для контролю рідких електропровідних середовищ, їх котушки розташовують у контрольованому середовищі. В екранних прохідних ВСП збуджуючу та вимірювальну котушки розташовують по різні сторони ОК [4].

На рис. 1.4.2. приведені занурювані та екрані прохідні ВСП.

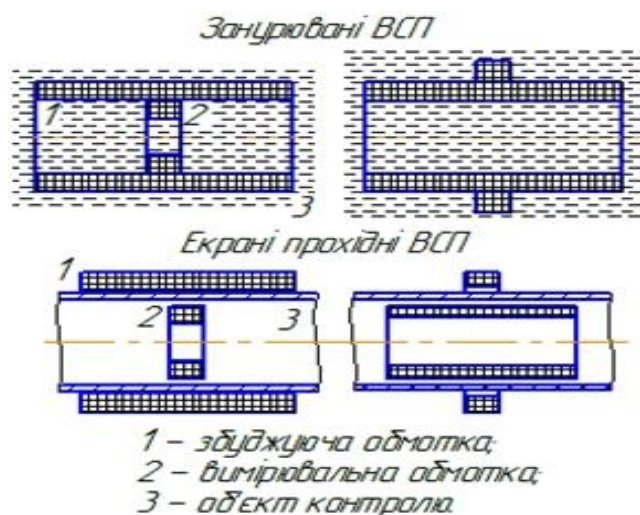


Рис. 1.4.2. Різновиди прохідних ВСП

Накладні ВСП (рис. 1.5.) розташовуються поблизу поверхні ОК, мають одну, або ж кілька обмоток. Їх осі найчастіше розташовуються нормально до поверхні ОК. Також можливе подовжнє розташування накладних ВСП, коли вісь

катушки спрямована вздовж поверхні ОК. Такі ВСП дозволяють контролювати геометричні та електромагнітні параметри ОК складної форми. Катушки накладних ВСП можуть бути круглими коаксіальними, прямокутними, прямокутними хрестоподібними, із взаємно перпендикулярними осями, тощо.

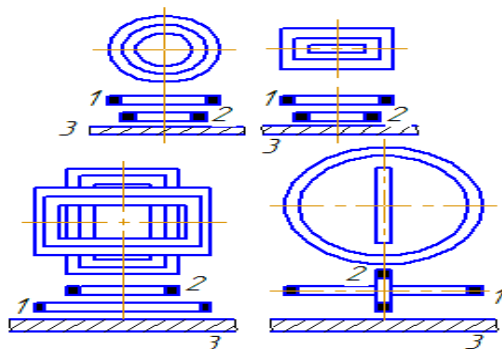


Рис. 1.5. Різновиди накладних ВСП

Комбіновані ВСП (рис. 1.5) являють собою комбінацію прохідних збуджуючих котушок 1 та накладних вимірювальних котушок 2.

За допомогою зовнішніх прохідних ВСП контролюють лінійно видовжені об'єкти (дріт, прутки, труби, тощо), здійснюється масовий контроль дрібних

виробів. За допомогою внутрішніх прохідних ВСП контролюють внутрішні поверхні труб, балонів, стінки отворів. Занурювані ВСП призначені для контролю рідин, екрані прохідні - для контролю труб.

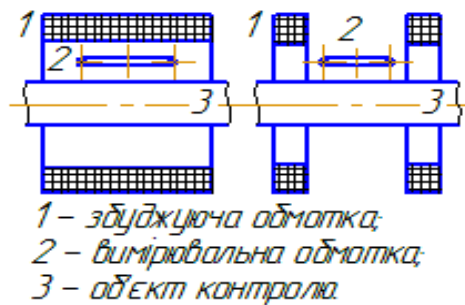


Рис. 1.6 Комбіновані ВСП

Накладними ВСП контролюють, в основному, об'єкти з плоскими поверхнями та об'єкти складної форми. Також вони використовуються при необхідності забезпечення локальності та високої чутливості контролю [1].

Вихрові струми в об'єкті контролю прагнуть замикатися по траєкторіях близьким до траєкторії струму, що протікає в витку обмотки збудження. При цьому важливо вибрати такий стан перетворювача щодо об'єкта контролю, що б можливий дефект «розривав» контур вихрового струму. В іншому випадку чутливість до дефекту буде мінімальна. На рис. 1.6.1. показано положення котушки ВСП щодо об'єкта з дефектом [3].

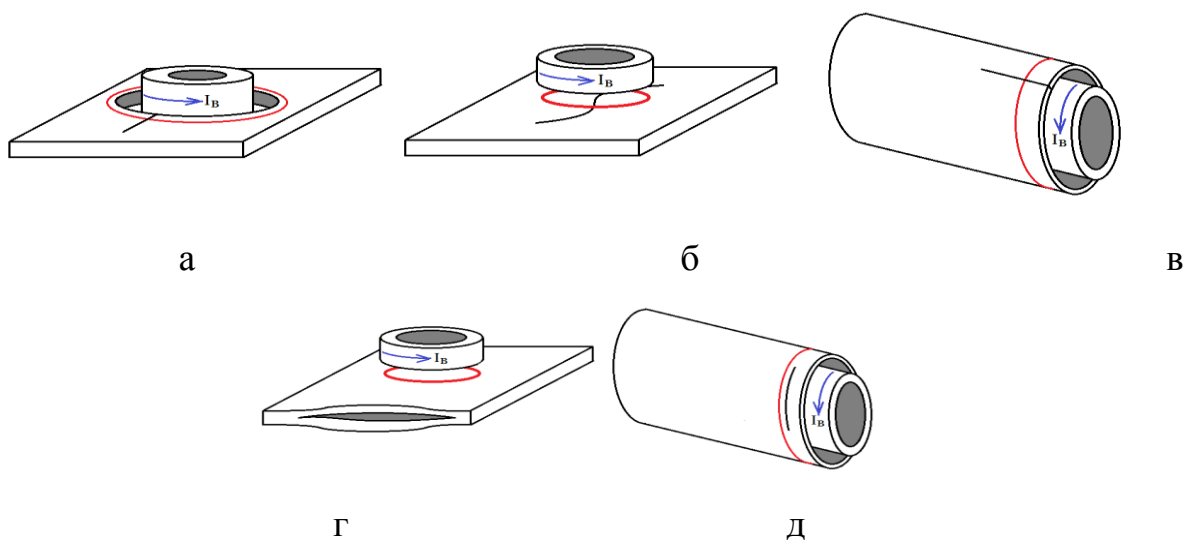


Рис. 1.6.1. Положення котушки ВСП щодо об'єкта з дефектом що «розриває» (а, б, в) і «не розриває» (г, д) контур вихрового струму

1.5 Інформативні параметри вихрострумowego контролю

Зміна сигналу вимірювальної обмотки ВСП, в загальному випадку, пов'язано зі зміною умов контролю або іншими словами зі зміною параметрів контролю. Зміна будь-якого з параметрів призводить до зміни сигналу ВСП.

Вихрострумний метод є багато параметричним методом. З одного боку це дає можливість контролювати різні параметри об'єкта контролю. З іншого боку викликає необхідність відбудовуватися від впливу чинників, що заважають при контролі конкретного параметра.

Впливаючі фактори можна розділити на два типи:

1. Геометричні:

- зазор між ВТП і ОК;
- наближення до краю ОК;
- зміна геометричних розмірів (товщина стінки, галтельні переходи і т.п.);
- шорсткість поверхні.

2. Структурні:

- електрична провідність матеріалу ОК;
- магнітна проникність матеріалу ОК;
- хімічний склад;
- зернистість;
- термообробка;
- наклеп.

Виникає завдання виділення складової інформативного параметра сигналу ВСП. Умови вихрострумowego контролю характеризують такою величиною як узагальнений параметр вихрострумowego контролю. Це безрозмірна величина, що характеризує властивості перетворювача, об'єкта контролю, або умови контролю:

$$\beta = R\sqrt{\omega\mu\mu_0\sigma},$$

де R - радіус еквівалентного витка обмотки ВТП, ω - кругова частота струму обмотки збудження, μ_0 - абсолютна магнітна проникність середовища, σ - питома електрична провідність середовища.

Якщо проаналізувати цей вираз, можна зробити висновок, що вплив магнітної проникності матеріалу об'єкта контролю на вихідний сигнал ВСП, в деяких випадках, набагато значніше ніж вплив питомої електричної провідності. Це пов'язано з тим фактором, що магнітна проникність (при контролі феромагнітних матеріалів), пов'язана з їх намагніченість, може змінюватися в широких межах, в той час як питома електропровідність змінюється незначно. Таким чином, при контролі параметрів об'єкта, пов'язаних з електропровідними властивостями, зміна магнітної проникності об'єкта контролю є істотним фактором, що заважає, не позбавившись від впливу якого виконання контролю буде неможливо [3].

1.6 Методи виділення корисної інформації

Амплітудний метод застосовується, якщо зміна фази сигналу ВСП є незначною, або на неї впливають завади. До складу приладу який реалізує такий метод входить амплітудний детектор, що дозволяє відслідковувати зміну амплітуди сигналу, пов'язаної з контрольованим параметром. Так при досягненні порогового рівня амплітуди, відповідного критичного значення контрольованого параметра, відбудеться спрацювання сигналізації дефекту (рис.1.7). При цьому зміна фази або частоти сигналу не впливатиме на показання приладу.

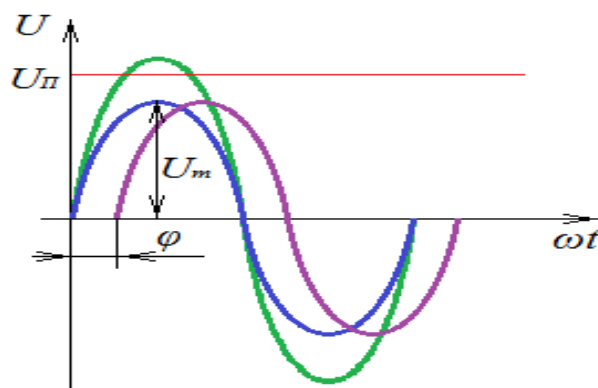


Рис. 1.7. Амплітудний спосіб виділення інформації

Фазовий спосіб доцільно застосовувати, в разі якщо зміна амплітуди сигналу є незначною, або на неї впливають завади. Для реалізації даного способу до складу приладу включається фазовий детектор.

Частотний спосіб для реалізації включають коливальний контур (рис. 1.8 а). Принцип роботи такого контуру заснований на збільшенні індуктивного опору перетворювача і зменшенні ємнісного опору конденсатора, включених в коливальний контур, при збільшенні частоти і навпаки (рис. 1.8 б). При досягненні резонансної частоти амплітуда сигналу ВСП різко збільшується. Так для найпростішого послідовного коливального контуру амплітуда (струму) і ширина частоти резонансу (рис. 1.8 в) визначається його добротністю:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

де R - активний опір контуру, L - індуктивність перетворювача, C - ємність конденсатора [3].

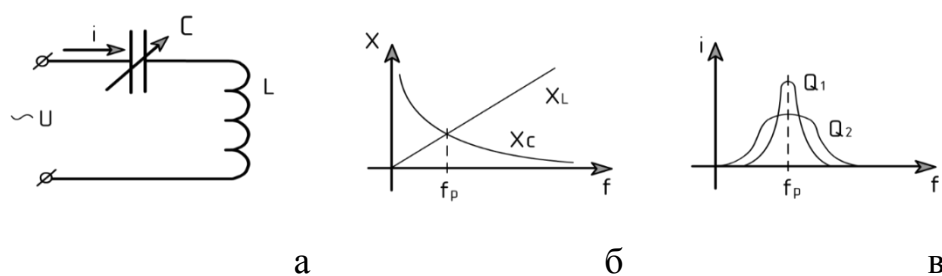


Рис. 1.8. Послідовний коливальний контур: електрична схема (а), визначення резонансної частоти (б), визначення ширини пропускання (в).

1.7 Годографи на комплексній площині

Зміна фази або амплітуди вихідного сигналу ВСП пов'язані зі зміною параметрів вихрострумовевого контролю призводить до зміни положення вектора на комплексній площині. При цьому траєкторія руху кінця вектора може являти собою криву довільної форми. Годограф - це траєкторія руху кінця вектора (рис. 1.9). На рисунку зображено послідовна зміна положення вектора на комплексній площині від U до U'' .

Оскільки зміни різних параметрів об'єкта контролю по різному впливають на різні параметри сигналу ВСП то аналіз годографів дозволяє відрізнити вплив завад від впливу контрольованого параметра.

Розглянемо аналіз годографа на прикладі накладного ВСП розміщеного над феромагнітним об'єктом значної товщини (феромагнітним півпростором). При цьому під годографом ВСП, будемо розуміти геометричне місце кінців вектора

ЕРС або напруги на комплексній площині, отримане в результаті зміни частоти, питомої електричної провідності, відносної магнітної проникності, розмірів об'єкта контролю, інших факторів, що впливають або утворених з них узагальнених змінних величин.

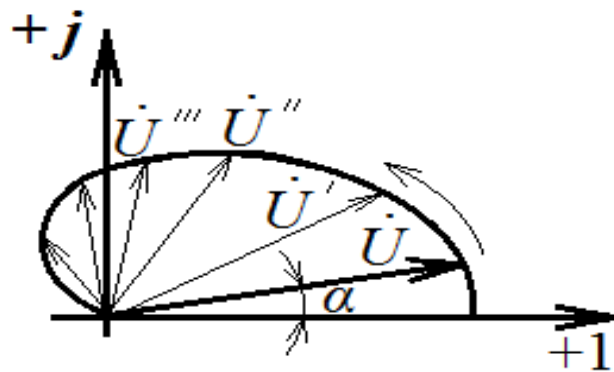


Рис. 1.9. Годограф вектора на комплексній площині.

Годограф, що характеризує зміну внесеної напруги для неферомагнітних матеріалів ($\mu = 1$), розташований в четвертому квадранті комплексної площині. Під внесеною напругою будемо розуміти збільшення напруги на виході вимірювальної обмотки ВСП, обумовлене внесенням в його електромагнітне поле об'єкта контролю. Зміна узагальненого параметра β , пов'язане зі збільшенням питомої електричної провідності об'єкта контролю, показано стрілкою.

При зміні відносної магнітної проникності годографи прагнуть в перший квадрант комплексної площині. На рисунку 1.10 показано годограф для значень магнітної проникності $\mu = 2$, $\mu = 5$, $\mu \rightarrow \infty$. Напрямок збільшення μ показано стрілкою.

Роздільний контроль електропровідності і магнітної проникності матеріалів неможливий, якщо орієнтуватися тільки на зміну амплітудного значення напруги вимірювальної обмотки ВСП.

Так якщо прийняти за вихідний вектор напруги a , то при збільшенні питомої електричної провідності (значення β змінюється з 1,25 до 2,5) істотно збільшується амплітуда (довжина вектора), а фаза змінюється незначно (вектор залишається в четвертому квадранті комплексної площині).

При збільшенні магнітної проникності (значення μ змінюється з 1 до 2) також спостерігається істотне збільшення амплітуди (нове положення позначено вектором c). Отже по збільшенню амплітуди можна судити чим викликана зміна сигналу ВСП.

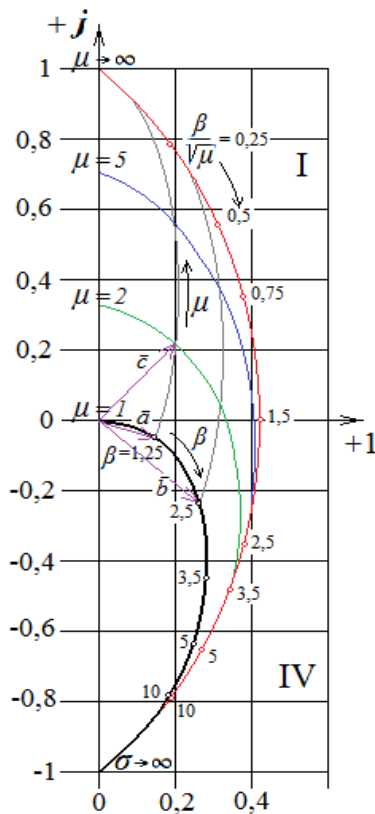


Рис. 1.10. Нодограф внесеної напруги накладного ВСП над феромагнітним провідним півпростором.

Однак зміна магнітної проникності призводить до різкої зміни фази сигналу ВСП (вектор c розташований вже в першому квадранті комплексної площині). Таким чином, аналізуючи амплітуду і фазу сигналу (нодографи ВСП) можна проводити роздільний контроль двох параметрів об'єкта або.

Сучасні дефектоскопи, на екрани яких виводиться комплексна площа, мають більші можливості по відбудові від чинників, що заважають в порівнянні з дефектоскопами, забезпеченими стрілочними індикаторами, що дозволяють оцінювати тільки амплітудні значення сигналів ВСП.

При великих значеннях магнітної проникності $\mu > 30$ (для феромагнітних матеріалів) годографи $U_{BH}(\sigma)$ і $U_{BH}(\mu)$ зливаються і роздільний контроль цих параметрів стає неможливим [3].

1.8 Вплив властивостей матеріалів і параметрів об'єктів контролю на сигнал вихрострумове датчика

Узагальнений параметр контролю

На те який сигнал буде формуватися на вимірювальній котушці (або котушках диференціального датчика), тобто якою буде амплітуда і фаза коливань, що генеруються на ній залежить від декількох параметрів, які зведені в узагальнений параметр вихреструмове контролю, для накладних перетворювачів він позначається символом β і описується формулою:

$$\beta = r_{BK} \sqrt{2\pi f \mu \mu_0 \sigma},$$

де r_{BK} - радіус збуджуючої котушки.

Таким чином, знаючи магнітну проникність і питому електричну провідність контрольованого металу можна підібрати частоту збуджуючого струму і радіус перетворювача, які забезпечать найкращу чутливість для контролю необхідного параметра і мінімізують вплив завад.

Питома електрична провідність об'єкта

Здатність провідника пропускати електричний струм називається провідністю. Провідність величина зворотна опору:

$$g = 1/R$$

Провідність провідника залежить від його геометричних розмірів і питомої опору матеріалу, з якого виготовлений провідник:

$$g = \sigma \frac{s}{l},$$

де σ - питома електрична провідність матеріалу, s - площа поперечного перерізу провідника, l - довжина провідника.

Провідність матеріалу залежить від температури. У металі при нагріванні збільшується амплітуда і частота коливань атомів у вузлах кристалічної решітки, що приводить до збільшення опору потоку електронів, що рухаються (електричного струму) і отже до зниження питомої провідності.

Одиниця виміру провідності - Сіменс (См). Одиниця виміру питомої провідності - Сіменс поділений на метр (См / м).

Однією з найкращих провідністю володіє мідь. Однак мідь - метал досить дорогий, і там де не так важлива висока провідність її можуть замінювати на більш дешевий алюміній.

Магнітна проникність

Властивість речовини сприяти поширенню силових ліній магнітного поля називається магнітною проникністю. Магнітна проникність речовини є коефіцієнтом пропорційності між напруженістю магнітного поля і магнітної індукції:

$$B = \mu H.$$

Здатність речовини посилювати чи послаблювати магнітне поле при заміщенні вакуумом цієї речовиною називається магнітною індукцією. Це силова характеристика поля в точці середовища.

Так при поміщенні в магнітне поле сталевого виробу всі силові лінії будуть прагнути зосередитися в ньому і будуть посилюватися. Тому силові магнітні лінії, що поширюються в речовині, ще називають лініями магнітної індукції.

Магнітна проникність феромагнетика залежить від ступеня його намагніченості. Графік залежності магнітної проникності феромагнетика від

напруженості зовнішнього магнітного поля носить складний нелінійний характер.

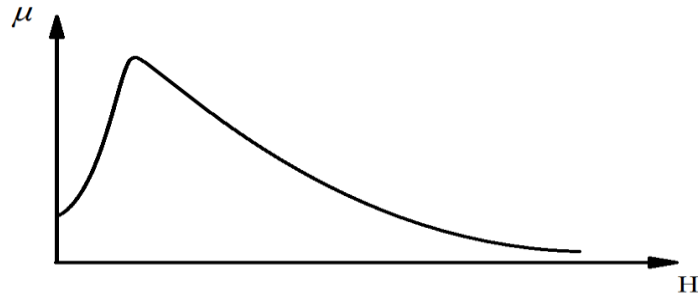


Рис. 1.11. Залежність магнітної проникності феромагнетика від напруженості магнітного поля

У вихрострумовій дефектоскопії щоб уникнути коливань магнітної проникності в контрольованому виробі потрібно або розмагнітити деталь, або намагнітити її так, щоб проникність слабо змінювалася.

Хімічний склад металу, розмір зерен

На структурний стан металів і сплавів впливає хімічний склад, розмір зерна, режими зміцнення, такі як термообробка і ряд інших чинників.

У свою чергу від структурного стану залежать і міцність і електромагнітні властивості матеріалів. Навіть невеликі зміни хімічного складу сталі, пов'язані з вмістом вуглецю або легуючих елементів призводять до значних змін показань вихрострумових приладів.

На принципі зв'язку питомої електричної провідності металу з його межею міцності, твердістю та іншими механічними властивостями заснована робота вихрострумових структуроскопії.

Такі прилади дозволяють виконувати сортування виробів по маркам сталей, аналізувати якість зміцненого шару, контролювати режими термообробки і т.п.

Однак варто пам'ятати, що при виконанні таких робіт істотно ускладнюється завдання роздільного контролю впливаючих параметрів об'єкта. Так при контролі хімічного складу сплаву фактором, що заважає можуть

служити випадкові варіації розміру зерна, намагніченості матеріалу, глибини зміцненого шару і т.п.

Рішення завдання роздільного контролю структурних параметрів об'єкта можливо з використанням аналізу годографів вихорострумових перетворювачів [3].

2 Огляд готових приладів

Вихорострумові дефектоскопи можна класифікувати за кількома ознаками.

По виду об'єктів контролю.

Дефектоскопи для контролю:

- плоских поверхонь і деталей складної форми;
- лінійно-протяжних об'єктів;
- малогабаритних однотипних серійних деталей.

По режиму роботи:

- статичні;
- динамічні;
- універсальні.

За типом виконання:

- стаціонарні;
- переносяться;
- портативні.

2.1 Вихорострумового дефектоскопа ВДЗ-71

Дефектоскоп ВДЗ-71 (рис. 2.1) має один фізичний вихорострумовий тракт, який забезпечує роботу до 2-х частот. Діапазон робочих частот вибирається в межах від 500 Гц до 6 МГц, що дозволяє підключати високочастотні і низькочастотні ВТП і вирішувати завдання виявлення як поверхневих, так і підповерхневих дефектів. За рахунок регулювання підсилення і напруги збудження ВСП забезпечується можливість роботи з абсолютними і диференціальними, параметричними і трансформаторними ВСП, що виготовляються різними фірмами.

Дисплей приладу дозволяє відтворювати значення робочих частот, частоти дискретизації, напруги збудження, амплітуди і фази. Перегорткування зображень дозволяє відтворювати на екрані дисплея до 3 сторінок. Кожна сторінка дозволяє

відобразити 1 зону відображення і 2 тимчасові розгортки. Кожна з зон відображення дозволяє відображати вихорострумовий сигнал в наступних

уявленнях: векторне відображення сигналів або комплексна площину. Частота дискретизації регулюється оператором і може становити до 3000 вибірок в секунду. Є режим автоматичного вимірювання амплітуди або фази сигналу для дефектів різної глибини з запам'ятовуванням відповідної калібрувальної кривої, яка використовується для подальшої оцінки величини дефекту в процесі контролю. У дефектоскопі ВДЗ-71 також передбачено створення до 4-х «рамоч» сигналізації. Ці рамки і сигнал в сукупності формують подію (наприклад, перевищення сигналом порогового рівня), яке може відтворюватись звуковим сигналом, підсвічуванням світлодіодів на панелі приладу, сигналізацією за допомогою програмних індикаторів або комбінацією перерахованих вище реакцій. Дефектоскоп має здатність створення сумішей двох каналів. Для змішування оператор може вибрати один з 5-х алгоритмів: підсумовування, віднімання, підсумовування з інверсією по горизонталі і підсумовування з інверсією по вертикалі.



Рис. 2.1. Дефектоскоп ВДЗ-71

Дефектоскоп ВДЗ-71 забезпечує фільтрацію сигналу ВСП в реальному часі за допомогою наступних фільтрів: НЧ фільтр, ВЧ фільтр, віконний фільтр, диференційний фільтр і усереднюючий фільтр. Наявність фільтрів дозволяє реалізувати режим динамічного контролю, який перспективний для виявлення дефектів на бічній поверхні отворів. Є можливість запам'ятовування до 100

налаштувань дефектоскопа і 10 результатів контролю, що збільшує продуктивність роботи.

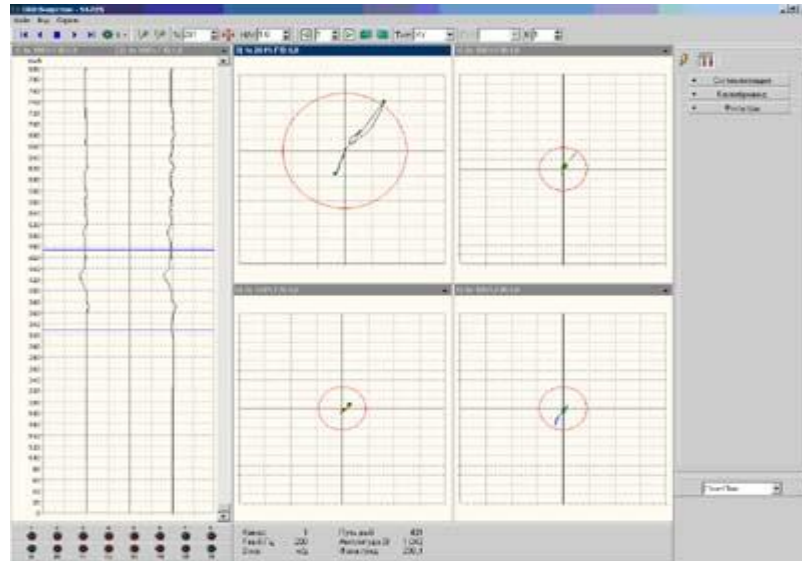


Рис. 2.2. Робоче поле програми для аналізу результатів вихрострумового контролю на ПК.

Дані контролю, отримані цим дефектоскопом також можуть бути передані на персональний комп'ютер для довготривалого зберігання, обробки, візуалізації, створення баз даних.

Приклади застосування дефектоскопів для контролю авіаційної техніки.

Як зазначалося вище, вихрострумний метод не має альтернативи при вирішенні багатьох авіаційних завдань. Метод особливо ефективний при виявленні дефектів в багатошарових авіаційних конструкціях, дефектів під шаром герметика або фарби, дефектів в отворах, дефектів в зоні заклепки, в тому числі під її головкою та інших.

Виявлення прихованих дефектів в багатошарових авіаційних вузлах засновано на застосуванні низькочастотних ВСП. Для вирішення цих завдань був розроблений комплект низькочастотних ВСП, які показали високу глибину контролю в поєднанні з хорошою чутливістю і роздільною здатністю. Важливо, що ці ВСП добре відбудовані від впливу змін зазору між ВСП і контрольованою поверхнею.

Приклади застосування дефектоскопа

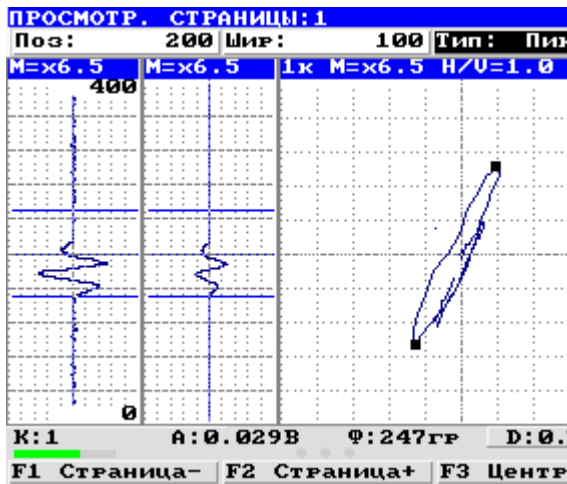


Рис. 2.3. Тріщина глибокої 0,7 мм виявлена при контролі надресорної балки моделі 18-100



Рис. 2.4. Використання спеціалізованих перетворювачів в комплексі з блоком АСД і цифровою обробкою сигналів дозволить відбудуватися від чинників, що заважають, таких як шорсткість, крайовий ефект, відрив ВТП від поверхні об'єкта контролю та ін.

2.2 Дефектоскоп ВД 3-81 Eddycon



Рис. 2.4. Дефектоскоп ВД 3-81 Eddycon

Дефектоскоп вихрострумовий ВД3-81 Eddycon відноситься до засобів контролю і оцінки дефектів і призначений для ручного контролю вихрострумовий методом на наявність поверхневих і підповерхневих дефектів типу порушення суцільності матеріалу (тріщини, заходи, раковини, волосовини і ін.).

Переваги портативний дефектоскоп ВД 3-81:

1. можливість відбудови від впливу робочого зазору і неоднорідності електромагнітних властивостей об'єкта контролю;
2. збереження в пам'яті дефектоскопа великої кількості налаштувань і результатів контролю;
3. спеціалізоване програмне забезпечення;
4. режим двостороннього зв'язку з ПК через USB порт (для введення в ПК інформації з пам'яті дефектоскопа і можливості роздруківки цієї інформації на принтері, а також для завантаження програм налаштувань з ПК в пам'ять дефектоскопа);
5. можливість умовної оцінки глибини дефекту;
6. світлова та звукова сигналізація дефекту;
7. простота в роботі завдяки інтуїтивно-зрозумілому інтерфейсу;
8. малі масо-габаритні показники [5].

Основні технічні характеристики дефектоскопу ВД 3-81 наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Основні характеристики ВД3-81

Діапазон частот	кГц	от 0,05 до 12000
Підсилення	дБ	70
Напруга живлення перетворювача	В	0,5, 1, 2, 4, 6
Частота виборок	Гц	8000
Фільтр		НЧ от 1 до 4000; ВЧ от 1 до 4000;
ВСП		Диференційні та

		абсолютні ВСП;
Цифровий масштаб		от 1/16 до 16, с шагом 6 дБ
Обертання фази	°	от 0 до 360
Роз'єми для підключення ВСП		2 - pin LEMO, 4 - pin LEMO
Дисплей		Кольоровий ЖКД
Розширення екрану	точок	320 ´ 240
Розмір екрана	дюйм	2,756 ´ 1,969
	мм	70 ´ 50
Режими відображення сигналу		Комплексна площина – $X(y)$; Часова розгортка – $X(t)$, $Y(t)$; Кругова розгортка – $X(y)+A$.
Типи порогових рівнів		Круг, Поріг, Сектор,
Пам'ять для зберігання налаштувань та дефектограм контролю		1 Гб пам'яті. 1 дефектограма займає – 6 Мб; 1 налаштування займає – 0,00355 Мб
Батарея		Акумуляторна Ні- МН 12В/2700 мАч
Час роботи від батареї	год	не менше 5,5
Температура застосування приладу	°С	от -30 до +40

Захист від впливу оточуючого середовища		IP 64 по ГОСТ 14254
Габаритні розміри	мм	188'107'78

Приклади застосування дефектоскопу.

Контроль болтових отворів за допомогою сканера вихретокового ротаційного

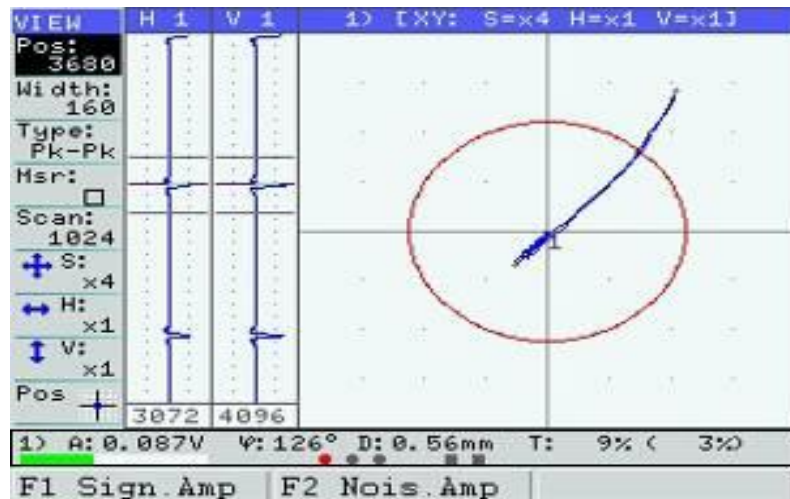


Рис.2.5 Вид сигналу від природного дефекту типу тріщина глибиною 0,56 мм в болтовому отворі авіаційного колеса.



Рис. 2.6. Контроль дисків авіаційних коліс

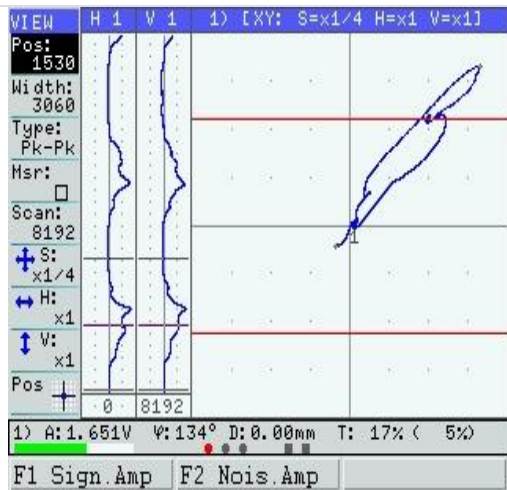


Рис.2..7. Сигнали з ділянки магістрального газопроводу з стрес-корозійних пошкодженням отримані дефектоскопом ВДЗ-81 Eddycon через шар ізоляційного покриття товщиною 6 мм.



Рис 2.8. Проведення основного або підтверджує контролю тіла труб із застосуванням дефектоскопа ВДЗ-81 Eddycon дозволить оцінити ступінь пошкодження труби і її придатність до подальшої експлуатації.

2.3 Дефектоскоп вихрострумів портативний Eddycon C

Прилад Eddycon C відноситься до засобів контролю і оцінки дефектів і призначений для ручного контролю вихрострумів методом на наявність поверхневих і підповерхневих дефектів типу порушення суцільності матеріалу (тріщини, заходи, раковини і ін.).

Переваги дефектоскопу:

1. збереження в пам'яті дефектоскопа великої кількості налаштувань і результатів контролю;
2. режим двостороннього зв'язку з ПК через USB порт (для введення в ПК інформації з пам'яті дефектоскопа і можливості роздруківки цієї інформації на принтері, а також для завантаження програм налаштувань з ПК в пам'ять дефектоскопа);
3. наявність датчика температури і виносної кнопки баланс;
4. можливість умовної оцінки глибини і протяжності дефекту;
5. час безперервної роботи від акумуляторної батареї - 8 годин;
6. світлова та звукова сигналізація дефекту;

7. простота в роботі завдяки інтуїтивно-зрозумілому інтерфейсу;

8. малі масогабаритні показники.

Відмінні риси дефектоскопа:

1. кольоровий висококонтрастний TFT дисплей;

2. система АСД: 4 триколірних світлодіода, звукова сигналізація;

3. можливість роботи в двохчастотному режимі;

4. спрощена процедура калібрування приладу на стандартних зразках;

5. можливість підключення датчика шляху і сканера вихрострумowego ротаційного;

6. можливість швидкого вимірювання відношення сигнал / шум;

7. можливість роботи з ВТП і ротаційними сканерами різних виробників;

8. підтримка USB.

Можливості та сервісні функції приладу:

1. можливість виявлення дефектів глибиною - від 0,1 мм і розкриттям - від 0,002 мм;

2. цифрова фільтрація сигналу (5 видів фільтрів: низьких частот, високих частот, смуговий, диференційний, усереднюючий);

3. відображення вихрострумowego сигналу: а) комплексна площа - дозволяє виділяти дефекти на тлі перешкод шляхом аналізу форми сигналу; б) створення сумішей двох каналів, може застосовується для придушення чинників,

що заважають і зменшити їх впливу на результати контролю (для змішування оператор може вибрати один з 4-х алгоритмів: підсумовування, віднімання, підсумовування з інверсією по горизонталі і підсумовування з інверсією по вертикалі).

Можливість підключення і роботи з ВСП наступного типу:

1. диференційний ВТП;

2. диференційний ВТП, включений за схемою моста;

3. диференційний ВТП, трансформаторного типу, з заземленою середньою точкою;

4. диференційний ВТП, трансформаторного типу;

5. абсолютний (параметричний) ВТП;
6. абсолютний ВТП трансформаторного типу.
7. можливість підключення сканера вихрострумового ротаційного, для контролю отворів і спеціалізованих сканерів;

Зовнішній вигляд ВСП, які можуть підключатись до приладу наведено на рис. 2.9.[6].



Рис. 2.9. Зовнішній вигляд ВСП

Основні технічні характеристики приладу Eddycon C приведені в табл.2.2.

Таблиця 2.2. Основні технічні характеристики Eddycon C

Основні технічні характеристики Eddycon C		
Діапазон частот	кГц	от 0,01 до 16000
Підсилення	дБ	70
Напруга живлення перетворювача	В	0,5, 1, 2, 4, 6
Частота вибірок	Гц	8000
Фільтр	Гц	НЧ от 1 до 4000; ВЧ от 1 до 4000; Полосовий
ВСП		Диференційні та абсолютні;
Цифровий масштаб		Загальний: от 1/16 до 16, з кроком 6 дБ По горизонталі: от 1/8 до 8, з кроком 6дБ

		По вертикали: от 1/8 до 8, с шагом 6 дБ
Обертання фази	°	від 0 до 360
Роз'єм для підключення ВСП		2 - pin LEMO, 4 - pin LEMO
Час сліду	с	0,1; 0,5; 1; 2; 3; 4
Дисплей		Кольоровий TFT
Розширення екрану	точок	800x480
Розмір екрану	дюйм	Діагональ 4,3»
	мм	не менше 97' 58
Режими відтворення сигналу		Комплексна площина – $X(y)$; Часна розгортка – $X(t)$, $Y(t)$.
Типи порогових рівнів		Круг, Поріг, Сектор,
Пам'ять для зберігання налаштувань та результатів контролю		От 8 до 32 Гб пам'яті. 1 дефектограма займає – 6 Мб; 1 настройка займає – 0,00355 Мб
Багаточастотна робота		2-х частотне мультиплексування; незалежне регулювання обох частот; змішування сигналів для

		придушення чинників, що заважають.
Акумуляторна батарея		Li-Ion 12В/4,5 А×ч
Час роботи от батареї	год	не менше 8
Температурне застосування приладу	°С	от -20 до +45
Захист від впливу оточуючого середовища		IP 64 по ГОСТ 14254
Розміри	мм	230x135x98
Маса	кг	не более 0,9

Застосування вихрострумових дефектоскопів:

Авіація – контроль деталей авіаційної техніки (диски коліс, обшивка, лопатки турбін, багатошарові конструкції, різного роду отвори і т.д.);

Нафтогазова промисловість – контроль трубопроводів, лопаток турбін ГРС, посудин під тиском;

Хімічна – контроль трубопроводів, промислових резервуарів і т.д. ;

Енергетична – контроль труб парогенераторів внутрішніми прохідними ВТП, контроль колекторів;

Машинобудівельна – контроль прутків, дроту, металоконструкцій, прокатних валків, листового металу;

3 Розробка структурної схеми

Як видно з огляду готових приладів на даний час відомі серійні, багатофункціональні вихрострумові дефектоскопи, на базі сучасних DSP процесорів, але вони мають високу вартість, великі габарити та енергоспоживання. Тому є доцільним розробити структурну схему вихрострумового дефектоскопу на мікроконтролері, точність якого не буде поступатися існуючим, але вартість та енергоспоживання будуть значно меншими.

Відомо[7], що вимірювачі амплітуди та фазового зсуву вимірювального сигналу, які використовують ортогональний метод виміру, являються найбільш точними. Враховуючи вищезазначене, а також сучасний стан електроніки, а саме: появу мікросхем синтезаторів частоти прямого цифрового синтезу (DDS) з малим енергоспоживанням, керованих мікроконтролерами, а також мікросхем помножувачів сигналів, та мікроконтролерів з вбудованими аналого-цифровими перетворювачами (АЦП), вважаємо за доцільне при розробці ВД використовувати ортогональний метод виміру.

Функціональна схема ВД яка реалізує ортогональний метод виміру може мати такий вигляд представлений на рис. 1.

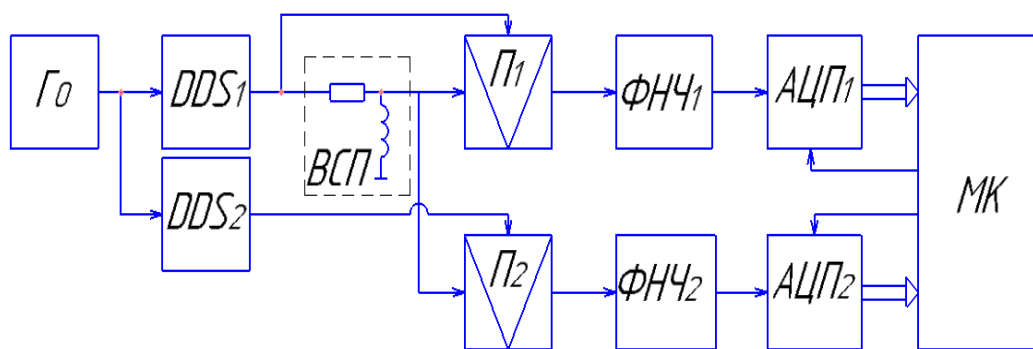


Рис.2.10. Схема вихрострумового дефектоскопу: Γ_0 – опорний генератор, DDS_1 – синтезатор частоти, DDS_2 – другий синтезатор частоти, ВСП – вихрострумовий перетворювач, Π_1 – Π_2 – два синхронні амплітудні детектори, $\Phi H \chi_1$ – $\Phi H \chi_2$ – фільтри нижніх частот, $A \chi \Pi_1$ – $A \chi \Pi_2$ – аналого-цифрові перетворювачі, МК – мікроконтролер.

Дана схема працює наступним чином: два синтезатори частоти які синхронізуються від одного опорного генератора синхроімпульсів одночасно генерують опорні ортогональні сигнали $a_1(t) = A_1 \sin(\omega t)$ та $b_1(t) = B_1 \cos(\omega t)$. Після чого один із сигналів потрапляє на вихрострумний перетворювач (ВП), який в свою чергу взаємодіє з об'єктом контролю.

Амплітуда і фаза на виході ВСП буде залежати від об'єкту контролю та наявності в ньому дефектів. Отримавши певні зміни вимірюваний сигнал $a_1(t) = A_1 \sin(\omega t + \varphi)$ буде потрапляти на синхронні амплітудні детектори. Де одночасно буде відбуватись перемноження опорних сигналів з вимірюваним. Після перемноження, сигнали з подвоєною частотою відфільтровується, а постійні складові цих сигналів подаються на входи АЦП.

Цифрові коди з АЦП поступають на МК, де значення амплітуди та фази буде визначатись за наступними формулами:

$$A = \sqrt{a_s^2 + a_c^2} \quad (1), \quad \varphi = \arctg \frac{a_s}{a_c} \quad (2).$$

де $a_c = \frac{1}{2} k A_1 B_1 \cos(\varphi)$ – значення постійної косинусної складової, $a_s = \frac{1}{2} k A_1 B_1 \sin(\varphi)$ – значення постійної синусної складової, k – коефіцієнт перетворення помножувачів (синхронних амплітудних детекторів).

Недоліком такої схеми приладу є апаратна складність виконання, (використовується два АЦП, два помножувача тобто два вимірювальних канали). Крім того не ідентичність каналів вимірювання може знизити чутливість та достовірність контролю [9].

Функціональна схема вихрострумного дефектоскопу (представлена на рис.2.11) на мікроконтролері з використанням синтезаторів частоти, яка значно спрощена та має лише один вимірювальний канал, і фактично реалізує квазіортогональний метод вимірювання. Задача вирішується тим що, у вихрострумовому амплітудно-фазовому способі неруйнівного контролю, який включає в себе перемноження вимірювального і опорного сигналів з подальшим визначенням амплітуди отриманої постійної складової. Фазу одного із сигналів (DDS_1 або DDS_2) періодично змінюють на 90 градусів.

Метод може бути реалізований за допомогою структурної схеми, яка представлена на рис.2.11.

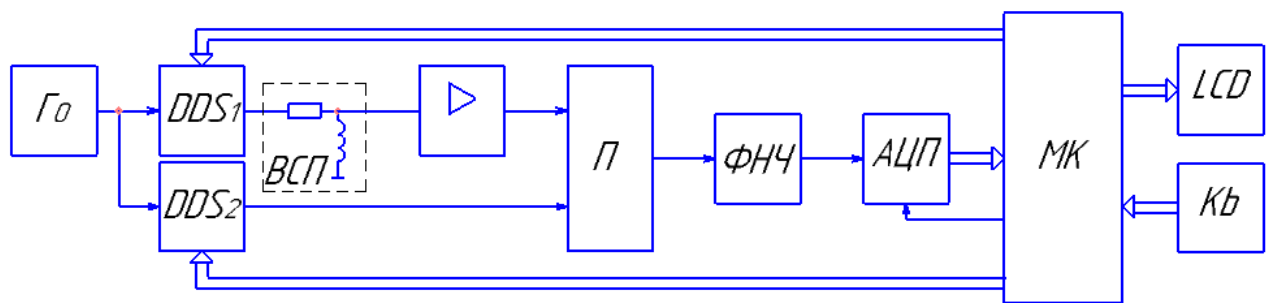


Рис.2.11. Схема вихорструмового дефектоскопу на базі синтезаторів частоти: Γ_0 - опорний генератор, DDS_1 - синтезатор частоти, DDS_2 – другий синтезатор частоти, ВСП – вихорструмовий перетворювач, П – синхронний амплітудний детектор, ФНЧ - фільтри нижніх частот, АЦП – аналого-цифрові перетворювачі, МК – мікроконтролер, LCD – дисплей, Кб - клавіатура.

Алгоритм роботи схеми запропонованого вихорструмового дефектоскопу полягає в наступному. За допомогою мікроконтролеру задаються параметри сигналів на виході синтезаторів частоти DDS_1 та DDS_2 . В регістр фази одного із синтезаторів попередньо одноразово загружаються такі коди, щоб сигнал на виході цього синтезатора змінював значення своєї початкової фази на 90^0 , по сигналу маніпуляції, який надходить на вивід «pselect» синтезатора з мікроконтролера. Сигнал з виходу синтезатора частоти – DDS_1 надходить на вихорструмовий перетворювач – ВСП, який взаємодіє з об'єктом контролю.

Амплітуда і фаза на виході вихорструмового перетворювача буде залежати від параметрів об'єкту контролю, а також від наявності в ньому дефектів. Сигнал з виходу вихорструмового перетворювача подається на один із входів синхронного амплітудного детектора – П, на другий вхід синхронного амплітудного детектора подається сигнал такої ж частоти з синтезатора DDS_2 .

Математично синхронний амплітудний детектор реалізує собою операцію множення. Тому на його виході перед фільтром нижніх частот результуючий сигнал набуде вигляду:

$$a(t) \cdot b(t) = A \sin(\omega t) B \cos(\omega t + \varphi) = \frac{1}{2} AB [\cos(\omega t - \omega t + \varphi) - \cos(\omega t + \omega t + \varphi)] = \frac{1}{2} AB [\cos(\varphi) - \cos(2\omega t + \varphi)] \quad (3).$$

Результат має дві складових, одна з яких залежить від амплітуди та фазового зсуву помножених сигналів і фізично являє собою постійний струм, інша – змінний струм подвійної частоти.

Фільтр нижніх частот відфільтровує складову $\cos(2\omega t + \varphi)$ і результуючий сигнал має, лише постійну складову.

За допомогою мікроконтролеру періодично здійснюють 90° маніпуляцію фази сигналу одного з синтезаторів частоти шляхом подачі сигналу з одного із виводів мікроконтролера на вивід «pselect» синтезатора. Це буде означати, що постійна складова буде змінюватися на $U = 0.5AB \sin(\varphi)$. Таким чином періодично з частотою маніпуляції на виході синхронного амплітудного детектора (з урахуванням його коефіцієнта перетворення k) отримують постійні складові сигналів пропорційні відповідним проекціям: $a_c = \frac{1}{2} kAB \cos(\varphi)$ і $a_s = \frac{1}{2} kAB \sin(\varphi)$, які відфільтровують і кодують за допомогою АЦП, та обробляються мікроконтролером. Результат вимірювання амплітуди та фази визначають згідно відповідним виразам (1) – (2).

Зміна амплітуди і зміна фазового зсуву визначається як різниця двох вимірів амплітуди і фазового зсуву до знаходження дефекту і після.

4 Макет вихрострумового дефектоскопу

Для дослідження дієздатності та потенційних можливостей роботи ВД на базі ортогонального методу було складено експериментальний макет приладу із серійних приладів, функціональна схема якого представлена на рис.3.1.

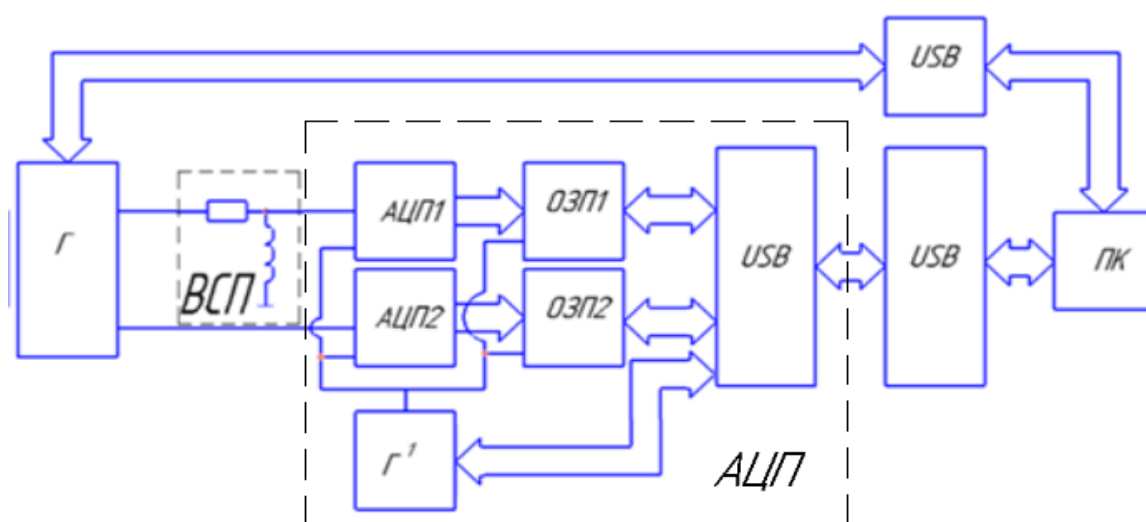


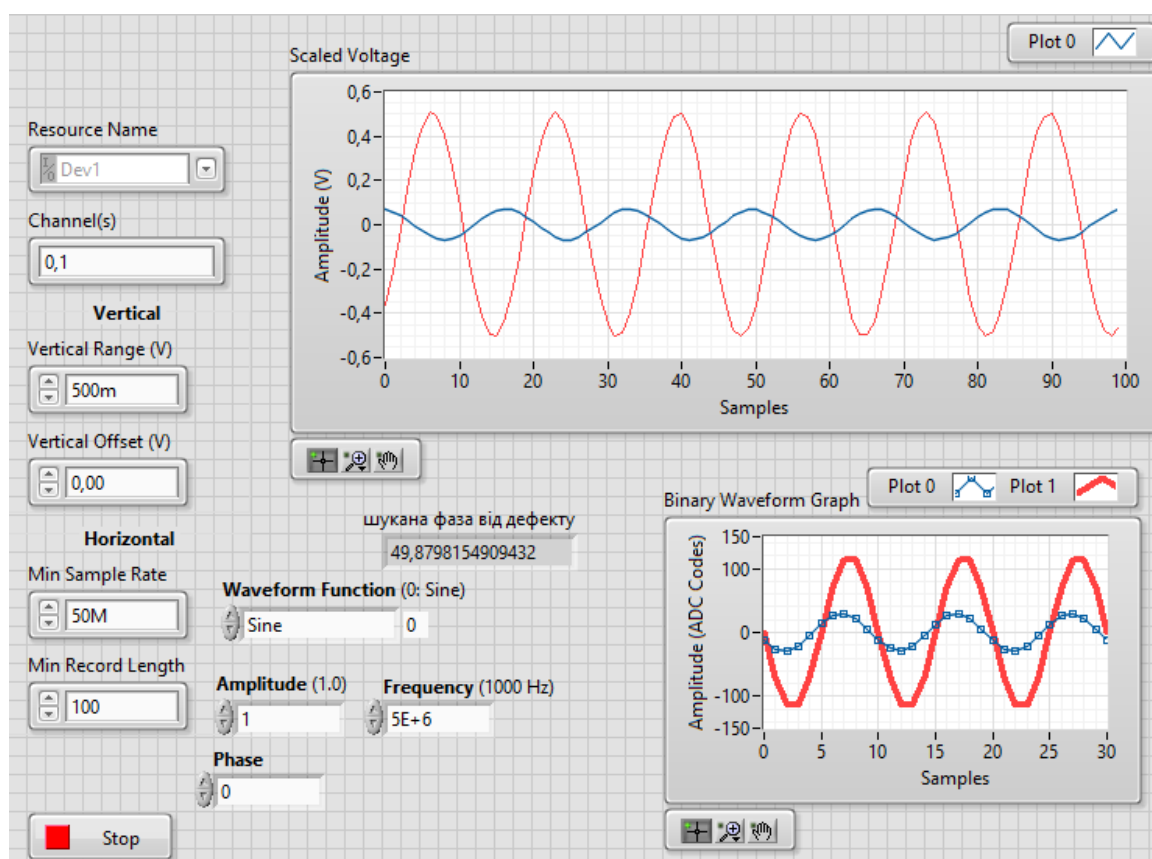
Рис.3.1. Функціональна схема приладу: Г – генератор сигналів. ВСП – вихрострумовий перетворювач, Г¹ – опорний генератор, АЦП – аналого-цифровий перетворювач, ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій USB – шина передачі даних, ПК – персональний комп'ютер.

В якості генератора сигналів використано двоканальний синтезатор частоти SDG102, фірми SIGLENT з можливістю зміни його параметрів, а також фазового зсуву між виходами за допомогою ПК через USB інтерфейс. В якості АЦП використано модуль двуканального 8-ми бітного АЦП фірми National Instrument NI5132 з USB інтерфейсом. Коди отриманих сигналів накопичуються в пам'яті модуля АЦП, причому довжина масивів накопичених даних може змінюватися за допомогою комп'ютера.

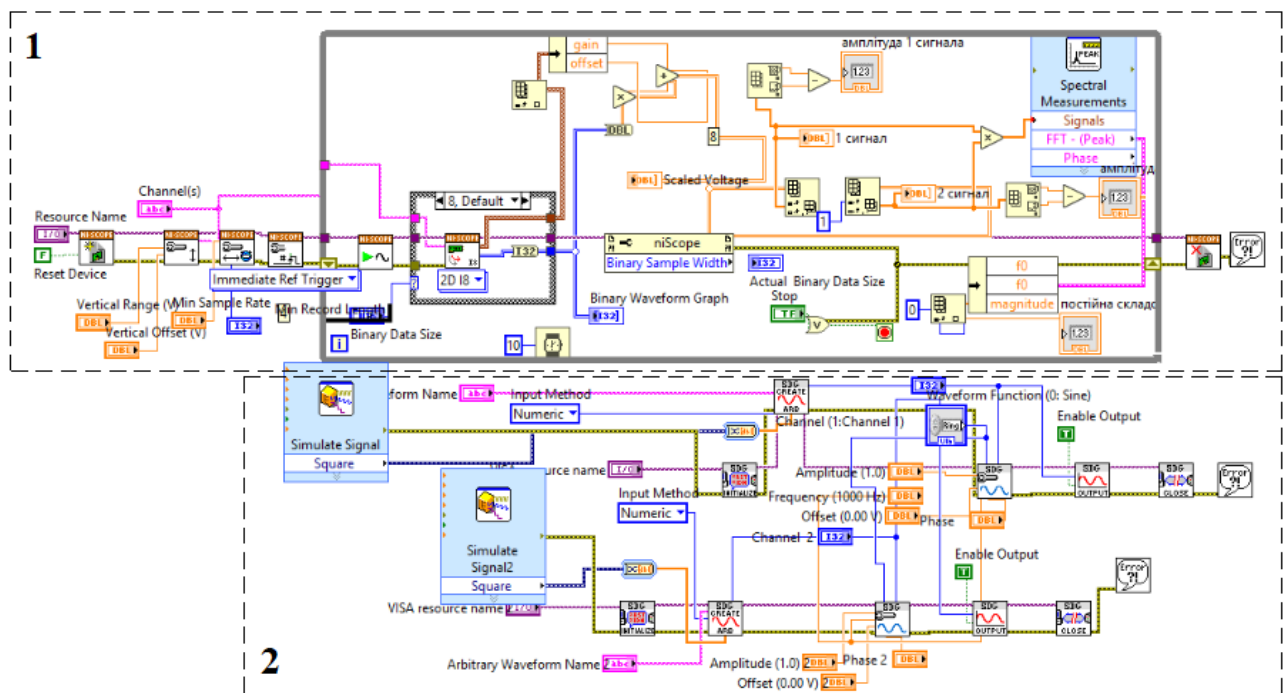
За допомогою комп'ютеру задаються параметри сигналів на виході генератора, а також виконується періодична маніпуляція початкової фази сигнала на 90⁰ по одному із виходів двуканального синтезатора сигналів.

Сигнал з одного виходу генератора поступає на вихрострумівий перетворювач, який взаємодіє з об'єктом контролю. Вимірюваний сигнал з виходу перетворювача подається на перший АЦП1. Сигнал з другого виходу генератора сигналів, такої ж частоти, поступає безпосередньо на аналоговий вхід другого АЦП2.

Після накопичення даних в пам'яті ОЗП1 та ОЗП2 масив через порт USB передається в ПК, де здійснюється цифрове перемноження та цифрова фільтрація цих даних. Крім того ПК виконує управління генератором сигналів, АЦП, реалізацію алгоритму ортогонального методу вимірювання згідно приведених виразів (1,2), визначення значень змін амплітуди та фазового зсуву вимірювального сигналу та візуалізацію результатів контролю за допомогою програми розробленої в пакеті програм labview 2016. Інтерфейс та блок схема програми приведені на рис.3.2.



а



б

Рис.3.2. Програма приладу розроблена в labview 2016: а – інтерфейс програми, б – блок-схема програми.

Програма складається з двох основних частин. У першій частині реалізоване управління АЦП, обробка даних та візуалізація результатів. Друга частина реалізує управління генератором сигналів.

4.1 Опис експерименту

Для визначення потенційних можливостей амплітудно-фазового ВД на базі ортогонального методу були проведені наступні випробування експериментального макету представленого на рис.3:

1. Вимірювалися початкові установлені фазові зсуви сигналів згідно вищезазначеного алгоритму 90^0 маніпуляції фазового зсуву, які попередньо встановлювалися на синтезаторі SDG102. Потім результати порівнювалися.
2. Вимірювалися різниці фазових зсувів (1^0 - 5^0), які задавалися за допомогою синтезатора (імітувалося знаходження дефекту) при початкових фазових зсувах.

3. Вимірювалися різниці амплітуд вхідних сигналів, які задавалися за допомогою синтезатора (імітувалося знаходження дефекту) при початкових фазових зсувах.

4. Вимірювалися різниці амплітуд вхідних сигналів, які задавалися за допомогою синтезатора (імітувалося знаходження дефекту) при початкових фазових зсувах.

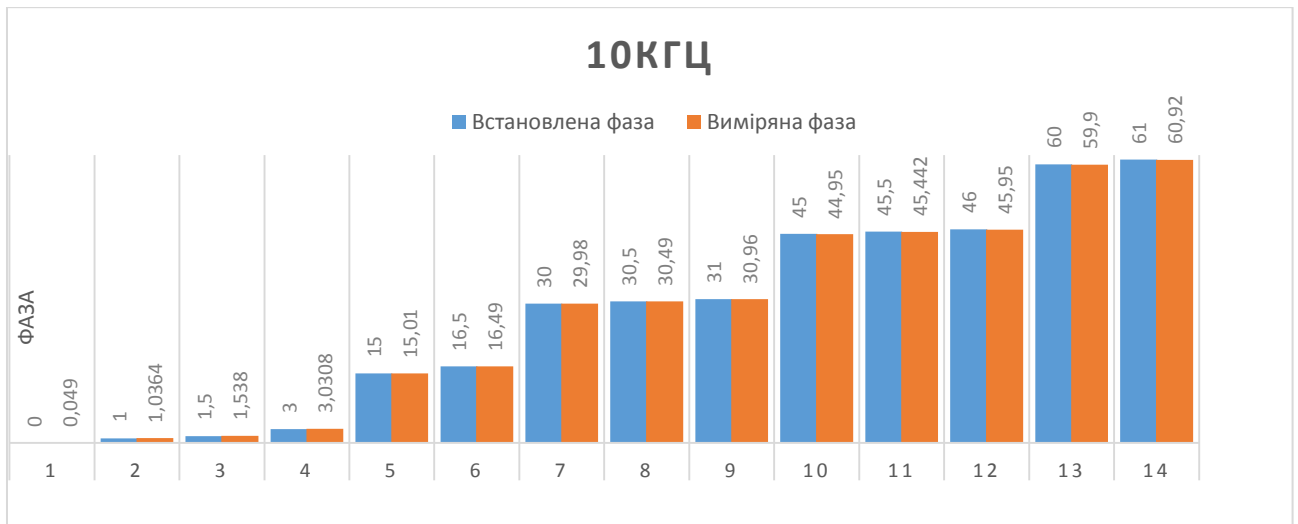
Частота вхідного сигналу 10кГц, 100кГц, 1МГц, частота дискретизації АЦП1 і АЦП2 складала 25 МГц, довжина масиву вибірок складала 100.

Результати експерименту приведені в табл. 3.1, та на гістограмі 3.1.–3.4.

Таблиця 3.1. Результати визначення фазових зсувів на різних частотах, заданих за допомогою синтезатора SDG102.

Задана фаза	Задана фаза	0	1	1,5	3	15	16,5	30	30,5	31	45
Виміряна фаза	10к	0,049	1,0364	4,538	3,0308	15,01	16,49	29,98	30,49	30,96	44,95
	100к	0,047	0,915	1,4319	2,96	14,91	16,46	30,016	30,45	30,936	44,958
	1М	0,286	1,29	1,78	3,264	15,245	16,788	30,25	30,759	31,25	45

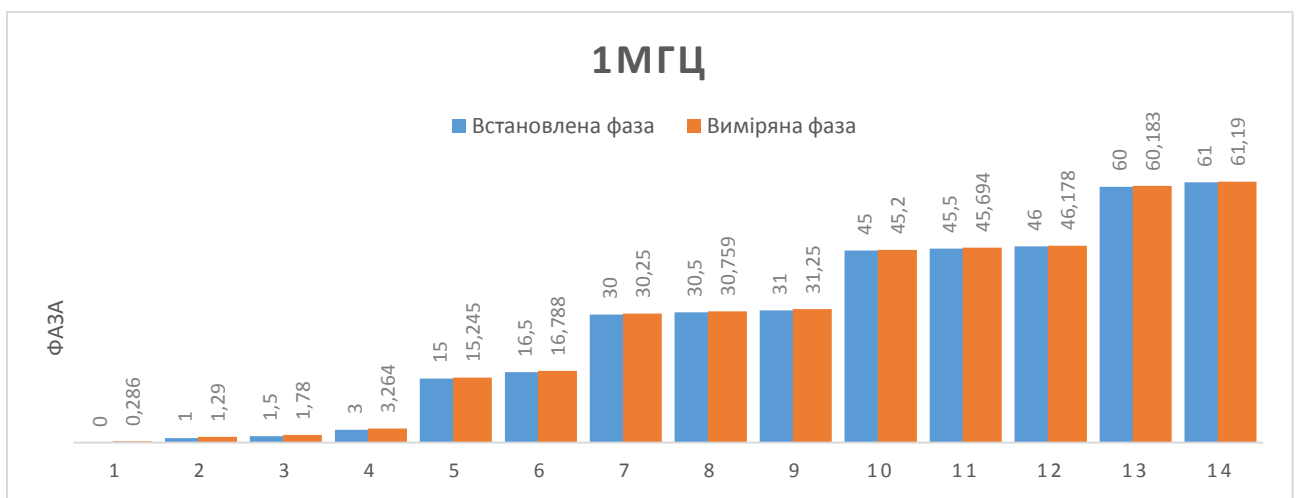
Задана фаза	Задана фаза	45,5	46	60	61
Виміряна фаза	10к	45,442	45,95	59,9	60,92
	100к	45,433	45,968	59,96	60,98
	1М	45,694	46,178	60,183	61,19



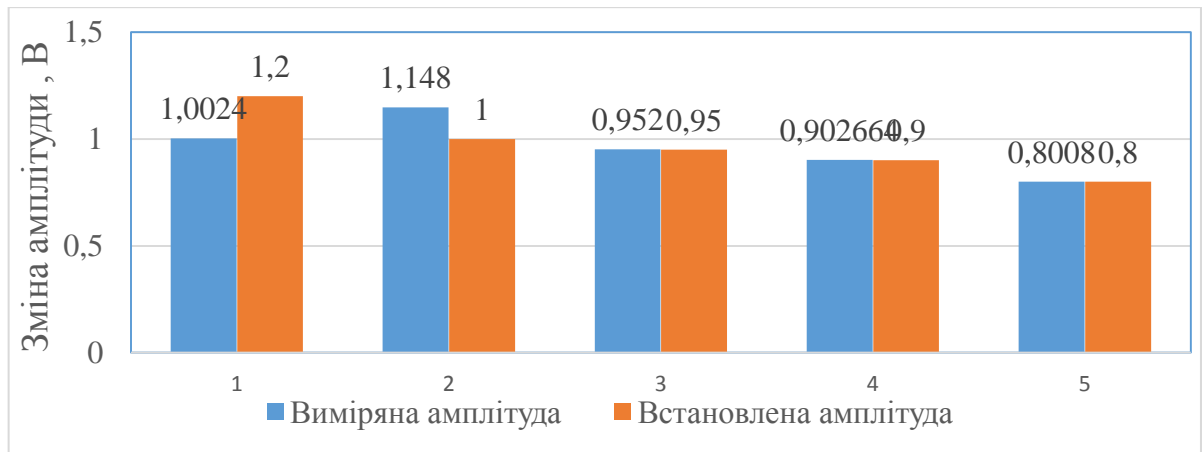
Гіст.3.1. Результати визначення фазових зсувів на частоті 10кГц.



Гіст.3.2. Результати визначення фазових зсувів на частоті 100кГц.



Гіст.3.3. Результати визначення фазових зсувів на частоті 1МГц.



Гіст.3.4. Результати визначення амплітуди.

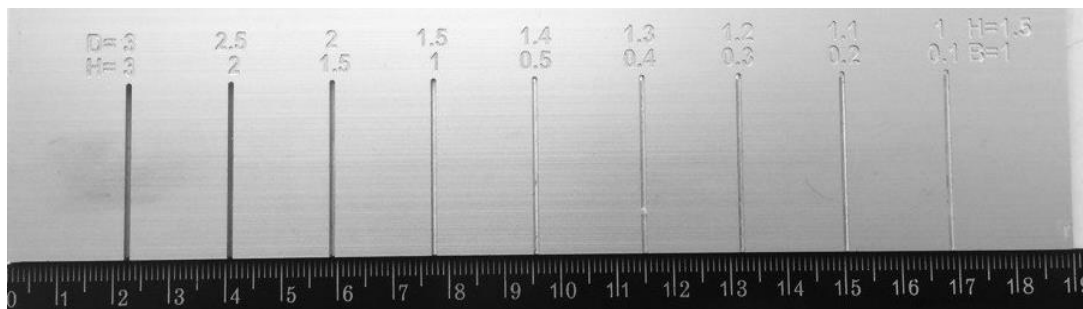
Ортогональний метод підтвердив свою ефективність. Має високі показники точності навіть при 8-ми розрядному АЦП.

Дослідження показали, що похибка фактично не змінювалась від абсолютних значень кутів.

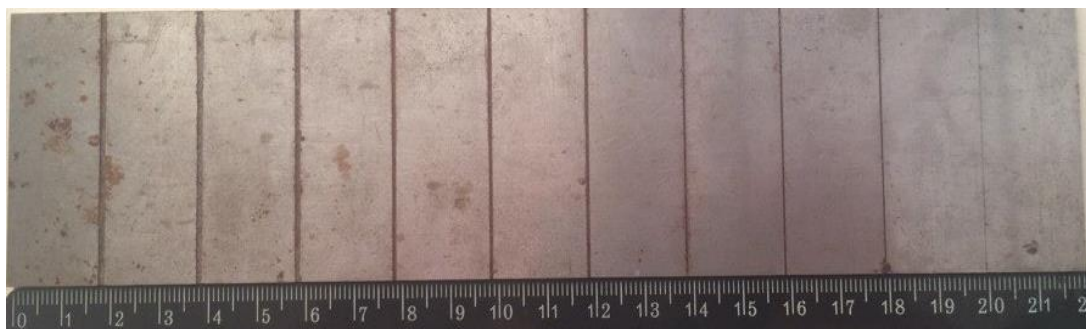
4.2 Дослідження серійних приладів на стандартних зразках

Для визначення зміни амплітуди і фази від дефекту застосовувались серійні прилади ВДЗ-71 та Eddyson C. Виміри проводились на трьох зразках, виготовлених з алюмінію та сталі.

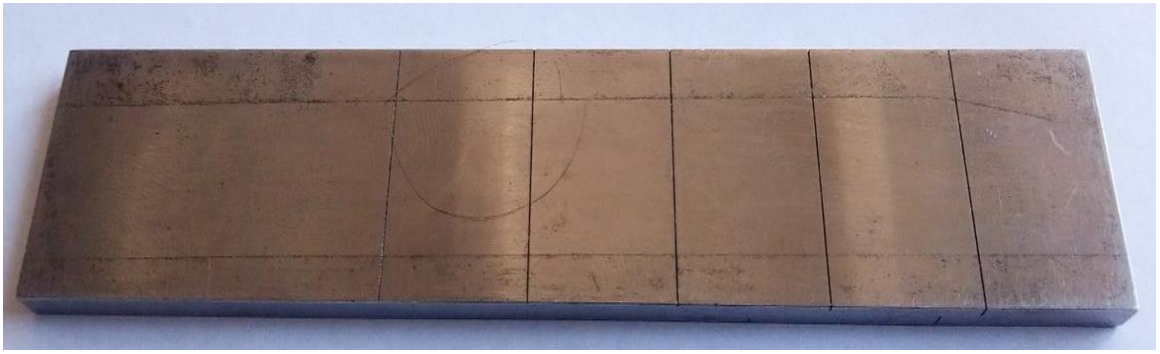
Зовнішній вигляд зразків приведений на рисунку 3.3.



а)



б)



в)



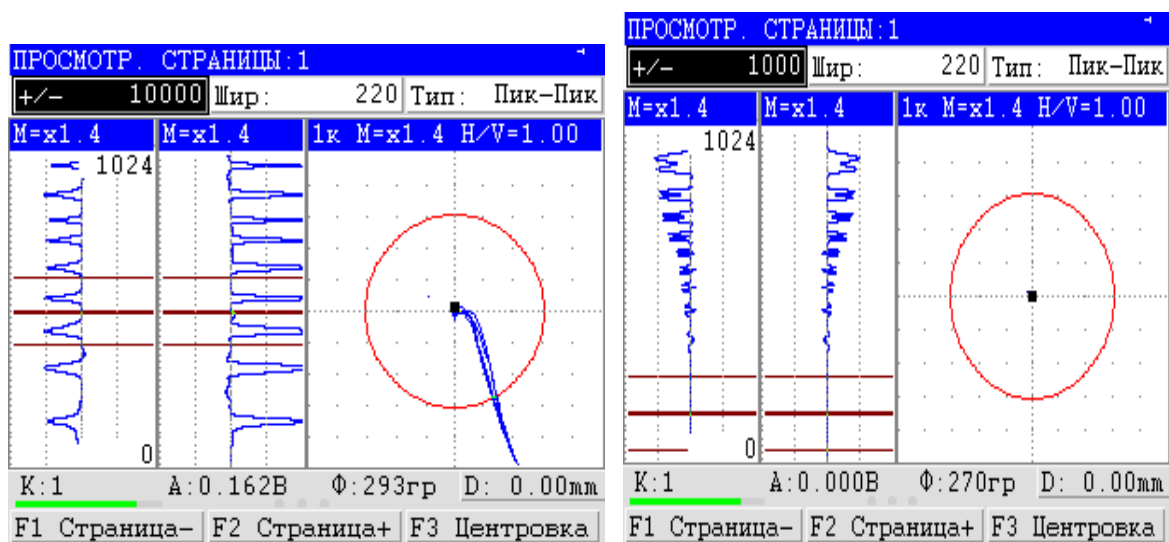
г)



д)

Рис. 3.3. Еталонні зразки: а – зразок виготовлений з алюмінію, б – зразок виготовлений з сталі, в – стандартний зразок підприємства 2353.08, г – ВСО – 2, д – ВСО – 1.

Дослідження сталюого та алюмінієвого зразків проводились на приладі ВДЗ-71. Результати досліджень приведені на рис. 3.4.



а)

б)

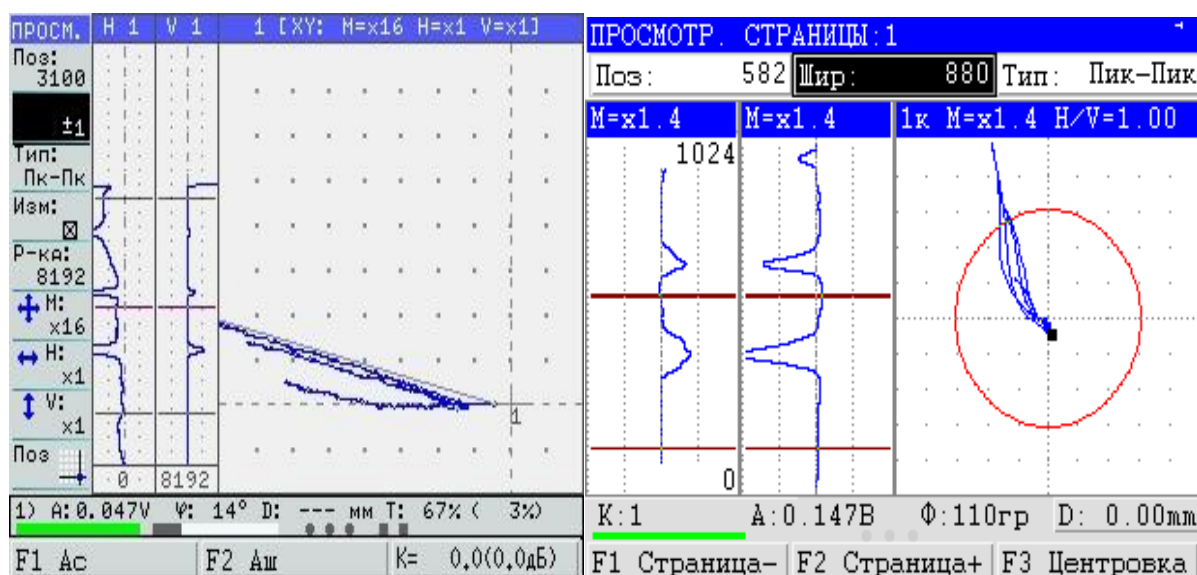
Рис. 3.4. Дефектограми отримані зі сталюого зразка–а, та алюмінієвого –б.

Зміна амплітуди і фази від дефекту отриманих за допомогою приладу ВДЗ-71 на сталюому та алюмінієвому зразках приведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1. Значення зміни амплітуди і фази від дефекту отримані на СЗП 2353.08.

Сталь		Алюміній	
Амплітуда, В	Фаза	Амплітуда, В	Фаза
0,147	111	0,197	9
0,135	113	0,142	8
0,132	115	0,122	8
0,092	19	0,094	8
0,108	117	0,056	8
0,112	119	0,05	8
0,094	114	0,039	8
0,08	120	0,031	8
0,077	118	0,017	8
0,010			

Дефектограма отримана з зразків ВСО-1, ВСО-2 приведені на рис.3.5.



а)

б)

Рис. 3.5.Дефектограми отримані з зразка ВСО-1 – а, ВСО-2 – б.

Зміна амплітуди і фази від дефекту отриманих за допомогою приладу ВДЗ-71 на сталюму та алюмінієвому зразках приведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2. Значення зміни амплітуди і фази від дефекту отримані на ВСО-1, ВСО-2.

ВСО-1	ВСО-2
Амплітуда, В	Амплітуда, В
0,120	0,04
0,101	0,024
0,037	0,009

Дослідження стандартного зразка підприємства 2353.08 проводилось за допомогою приладу Eddyson C. Результати досліджень приведені на рис. 3.6.

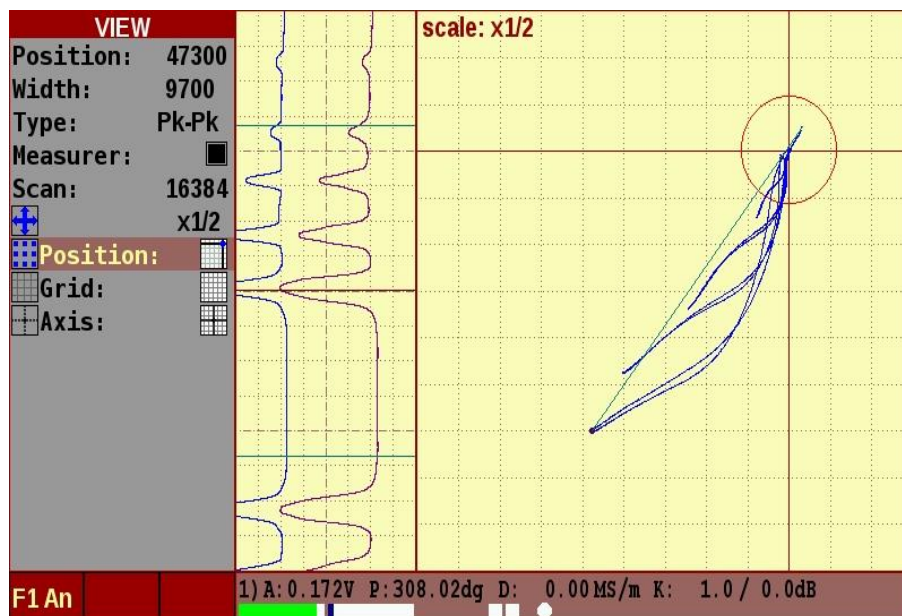


Рис. 3.6. Дефектограма отримана з стандартного зразка підприємства 2353.08.

Зміна амплітуди і фази від дефекту отриманих за допомогою приладу Eddycon C на СЗП 2353.08 приведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Значення зміни амплітуди і фази від дефекту отримані на СЗП 2353.08

СЗП 2353.08	
h, мм	A, мВ
2	160
1	100
0,5	90
0,2	40
0,1	20

Дані дослідження дали можливість оцінити та дослідити межі зміни амплітуди та фази від дефекту, та подальшу можливість порівняти значення зміни параметрів серійного приладу з тим що розробляється.

5 Спектральні складові сигналів ВСП

При спектральному аналізі в процесі впливу монохроматичного електромагнітного поля на ОК в сигналах вимірювальних перетворювачів з'являються складові частот, які відрізняються від частоти першої гармоніки генератора. Це може відбуватися через прояви нелінійних властивостей матеріалу виробу, або в результаті зміни в часі будь-яких чинників контролю.

У першому випадку виникають кратні гармоніки основної частоти, які несуть додаткову інформацію про властивості об'єкта. Метод, заснований на аналізі параметрів кратних гармонійних складових, називається методом вищих гармонік. Він застосовується при контролі феромагнітних об'єктів.

В другому випадку модулюється вихідна напруга змінними параметрами об'єкту, а ширина спектра побічних частот становить частину спектру частот несучої складової. Метод, заснований на обробці спектра модуляційних коливань, називають модуляційним аналізом.

Метод вищих гармонік полягає в збудженні синусоїдального поля з великою амплітудою напруженості магнітного поля так, щоб виявлялися нелінійні властивості матеріалу ОК, і в подальшому аналізі вищих гармонік. Специфічна особливість методу вищих гармонік полягає в необхідності виділення окремих гармонік, для чого застосовують різні фільтри і вимірювальні підсилювачі. Зазвичай аналізують амплітуду або амплітуду і фазу третьої (або п'ятої) гармоніки.

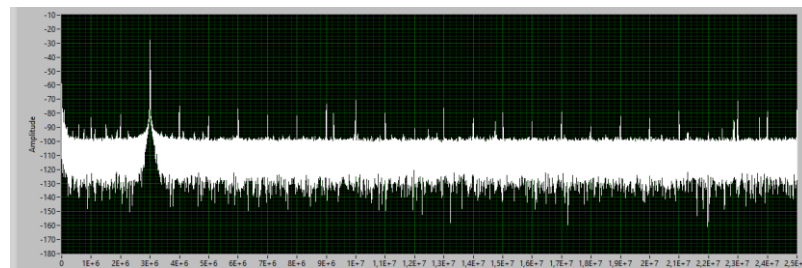
Модуляційний метод зазвичай використовується в дефектоскопії для оцінки просторового розподілу властивостей ОК. Якщо взаємно переміщати вимірювальний перетворювач і ОК, то зміна властивостей виробу, розподілені в просторі, спричинить зміну сигналів в часі. На цьому засновані всі практичні реалізації модуляційного методу для контролю протяжних виробів: труб, прутків, дроту, листів та інше. Отриманий від перетворювачів сигнал посилюється і детектується, а потім аналізується огинаючою високочастотних коливань.

Можливість роздільного контролю різних чинників визначається різницею форми імпульсів сигналів, що призводить до появи відповідних варіацій в їх спектрі[5].

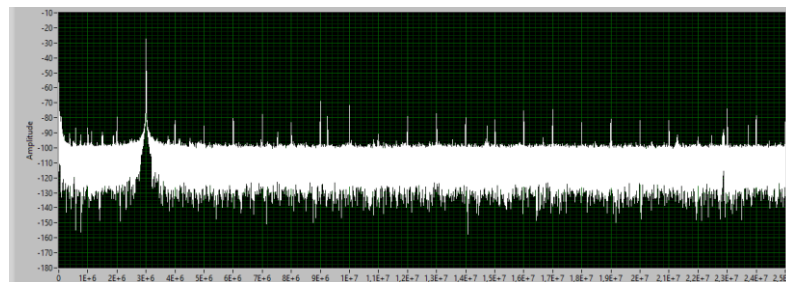
Для дослідження методу вищих гармонік була розроблена програма в labview 2016. Дослідження проводилось на сталюму зразку приведеному на рис.3.3 б, на частоті 3МГц. За допомогою вихрострумового перетворювача з високою роздільною здатністю та діаметром котушки 0.8 м. Зовнішній вигляд якого приведений на рис.5.1, та на розробленому макеті приладу. Результати досліджень приведені на рис.5.2.



Рис.5.1. Зовнішній вигляд вихрострумового перетворювача.



а)



б)

Рис.5.2. Спектр сигналу отриманий з вихрострумового датчика: а – на бездефектній частині ОК, б – на дефекті.

Як видно з результатів дослідження спектру сигналу отриманого з вихрострумового датчика, при потраплянні датчика на дефект відбувається зміна рівня гармонік спектру сигналу.

6 Дослідження завадостійкості ортогонального методу виміру

У програмному середовищі Matlab, була розроблена програма для дослідження завадостійкості ортогонального методу виміру.

Робоча частота $f_1 = 1\text{ МГц}$, $f_2 = 100\text{ кГц}$. Частота дискретизації АЦП 50 МГц . Час інтервалу на якому розглядався сигнал $t = 0 \dots 10/f$. Амплітуда сигналів $A = 4\text{ В}$.

Опорні сигнали: $x_{iz1} = A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$, $x_{iz2} = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$. Вимірювальний сигнал на виході вихрострумового перетворювача буде залежати від параметрів об'єкту контролю, а також від наявності в ньому дефектів. Отримавши певні зміни амплітуди та фази сигналу від ОК він матиме вигляд: $x_{izm} = A_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi) + A_0 \cdot \text{rnd}(0.5)$. Де φ – зміна фази сигналу утворена дефектом, $A_0 \cdot \text{rnd}(1, \text{lenght}(t))$ – шум накладений на сигнал.

Для оцифрування сигналу застосовувалось АЦП з розрядністю $n = 8$. Та кількість рівнів квантування $m = 2^n = 256$. Діапазон сигналів на вході АЦП: $x_{max} = 4\text{ В}$, $x_{min} = -4\text{ В}$. Діапазон оцифрування $D = x_{max} - x_{min} = 8$. Крок квантування: $Q = \frac{D}{m} = \frac{8}{256} = 0.0312$.

Сигнал отриманий від датчика та після оцифрування буде мати вигляд: $x_{izm\ kv} = \text{round}(\frac{x_{izm}}{Q}) \cdot Q$. Зовнішній вид сигналу при співвідношенні сигнал/шум = 4 приведений на рис.6.1.

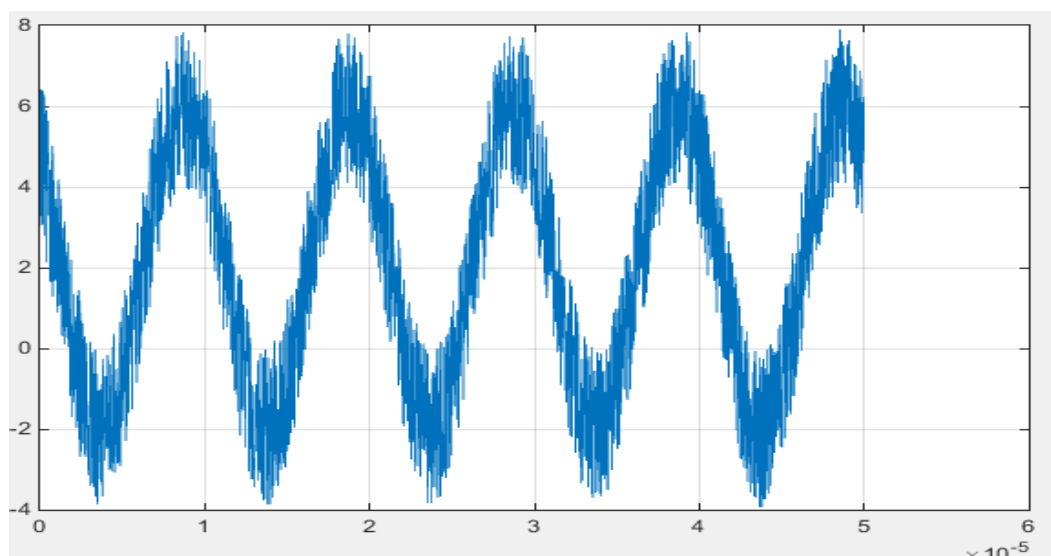


Рис.6.1. Зовнішній вигляд сигналу при співвідношенні сигнал/шум = 4.

Фаза від дефекту буде визначатись за рахунок двох складових отриманих наступним чином: $A_{s1} = \sum x_{izm kv} \cdot \sum x_{iz2}$, та: $A_{c1} = \sum x_{izm kv} \cdot \sum x_{iz1}$.

Зміна фази від дефекту визначається по наступному виразу: $\varphi = \arctg(\frac{A_{c1}}{A_{s1}})$.

Зміна амплітуди визначається як різниця двох вимірів амплітуди до знаходження дефекту і після.

Результати визначення фази приведені при співвідношенні сигнал/шум = 4 приведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Результати визначення фази приведені при співвідношенні сигнал/шум = 4.

f	Кількість періодів	Задана фаза	Виміряна фаза
1МГц	1	15	14,2728
		30	28,524
		45	43,38
		60	58,18
100 кГц	1	15	14,912
		30	29,804
		45	44,818
		60	59,79
100 кГц	10	15	14,99746
		30	29,978
		45	44,976
		60	59,974
100 кГц	100	15	15,002
		30	29,992
		45	44,99

		60	59,994
--	--	----	--------

Зовнішній вид сигналу при співвідношенні сигнал/шум = 0,4 приведений на рис.6.2.

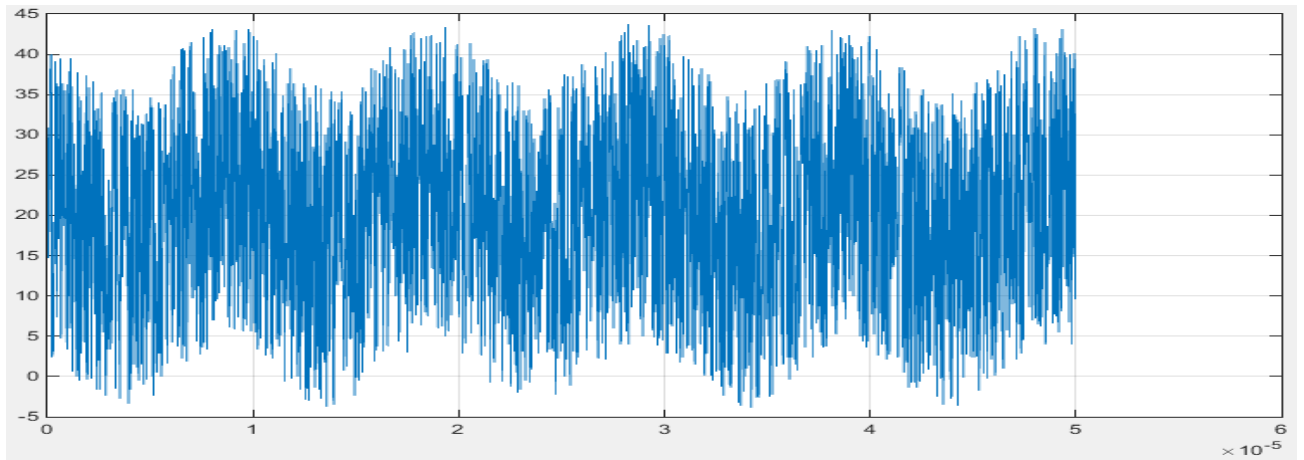


Рис.6.2. Зовнішній вигляд сигналу при співвідношенні сигнал/шум = 0,4.

Результати визначення фази приведені при співвідношенні сигнал/шум = 0,4 приведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Результати визначення фази приведені при співвідношенні сигнал/шум = 0,4.

f	Кількість періодів	Задана фаза	Виміряна фаза
100 кГц	10	15	14,096
		30	31,41
		45	44,086
		60	60,198
		90	85,644
100 кГц	100	15	15,07
		30	30,388
		45	45,216
		60	60,058

		90	89,676
100 кГц	1000	15	15,174
		30	29,972
		45	44,636
		60	59,554
		90	89,894

Дане

моделювання

підтвердило високу точність методу, навіть при значному перевищенні шумом сигналу.

Ортогональний метод підтвердив свою ефективність. Метод має високі показники точності навіть при 8-ми розрядному АЦП.

Дослідження показали, що похибка фактично не змінювалась від абсолютних значень кутів.

7 Розробка стартап-проекту «Вихрострумовий дефектоскоп»

В основу ідеї стартап-проекту покладено вихрострумовий дефектоскоп, який відрізняється від наявних на ринку меншою вартістю та невисоким енергоспоживанням, за рахунок використання вбудованого в мікроконтролер аналого-цифрового перетворювача. Даний прилад може бути застосована для контролю виробів широкого спектру. Результат аналізу суті ідеї стартап-проекту наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Опис ідеї стартап- проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Вихрострумовий дефектоскоп	Контроль виробів широкого діапазону	Менша вартість
		Невисоке енергоспоживання

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Для більш наочної демонстрації переваг та недоліків даної системи контролю порівняємо параметри системи з деякими її аналогами, наявними на ринку.

Конкурент 1 - Вихрострумовий дефектоскоп ВДЗ-71

Конкурент 2 - Вихрострумовий дефектоскоп ВДЗ-81

Конкурент 3 - Вихрострумовий дефектоскоп Eddycon C Асоціація «ОКО»

Таблиця 7.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

№ п/ п	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабк а сторон а)	N (нейтра - льна сторона)	S (сильн а сторон а)
		Мій Про- ект	Кон- курент т1	Кон- курент т2	Кон- курент т3			
1	Вартість, грн	5000 0	90000	10000 0	11000 0			+
2	Застосування до широкого діапазону ОК	+	+	+	+		+	
3	Мінімальний розкрив дефекту	0,00 2 мм	0,002 мм	0,002 мм	0,002 мм		+	
4	Мінімальний глибина дефекту	0,1 мм	0,1 мм	0,1 мм	0,1 мм		+	
5	Сервісне обслуговува- ння та консультація	+	+	+	+		+	
6	Мале енергоспожива ння	+	-	-	-			+

У табл. 7.2. визначено перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару, що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (мови програмування), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 5.3.

Таблиця 7.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Вихрострумний дефектоскоп	Виготовлення на замовлення у підприємствах	Наявна	Недоступна
2		Виготовлення самостійно за допомогою спеціалізованих станків	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Оптимальна технологія реалізації проекту вибрано виготовлення елементів приладу самостійно, шляхом використання спеціалізованих. Таких як ЧПУ та 3D принтерів.				

Результат технологічної здійсненності ідеї проекту вказує на те, що дану ідею можна реалізувати шляхом використання наявних на ринку технологій, які є доступними.

Здійснимо аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту. З метою оцінки ринкових загроз, які можуть перешкоджати реалізації проекту. Дослідження потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів (табл. 7.4).

Таблиця 7.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	~2000000 грн
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка приладу на стандартних зразках, для підтвердження точності

		контролю
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	90%

Так як ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт робимо висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Визначимо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, яким можна запропонувати даний прилад (табл. 7.5).

Таблиця 7.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап- проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Даний прилад надає ринку широкий спектр застосування та малу вартість,	Невеликі підприємства, які не мають можливості придбати дорогі існуючі прилади	Відносно не дорогі прилади неруйнівного контролю	Простота експлуатації, ефективність, економічність, висока якість сервісного обслуговування

В даній таблиці ми визначили сегменти ринку на якому будемо пропонувати наш продукт, визначили фактори продукту які формують поведінку клієнтів відносно нашого продукту та їхні основні вимоги до продукту.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також працювати з такими програмами повинні висококваліфіковані фахівці. Також, повинно своєчасне технічне обслуговування даного продукту

Подібні прилади неруйнівного контролю не є поширеним за рахунок високої вартості, це може створити проблеми при вводі в нього нового товару. Але даний проект матиме меншу вартість у порівнянні з аналогами, тому це буде сприяти швидкому введенні на ринок.

Проведемо аналіз факторів загроз та можливостей при виведенні товару на ринок (табл 7.6 - 7.7).

Таблиця 7.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Можливий вихід конкурента на ринок	Бонуси покупцям у вигляді безкоштовного року обслуговування
2	Економічний	Можливе зростання рівня інфляції	Пошук нових постачальників комплектуючих
3	Клієнтська база	На подібному ринку існує складність набору клієнтської бази	Проведення рекламної компанії
4	Необхідність сертифікації обладнання	Прилади неруйнівного контролю зобов'язані мати сертифікацію	Своєчасне проходження системи перевірки
5	Вхідний інструктаж	Оскільки системи неруйнівного контролю є доволі складними за своєю структурою, простих інструкцій для користувача не завжди є достатньо для початку роботи з системою	Компанія має змогу найму людей з закінченими курсами дефектоскопістів, які будуть виконувати роль консультантів

В таблиці 7.6 ми визначили фактори загроз які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на фактор щоб звести до мінімуму його вплив.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 7.7).

Таблиця 7.1. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Ліцензоване виробництво	Підвищення кваліфікації персоналу для отримання ліцензії
2	Економічний	Зменшення податків	Збільшення обсягів

		на даний вид діяльності	виробництва та зменшення ціни на продукт
3	Відсутність даного типу приладу	На даний час на ринку відсутні прилади вихрострумового контролю з невисокою вартістю але з такою ж точністю	Акцентування уваги клієнтів на меншій вартості приладу
4	Виставки, конференції	Можливість представляти прилад на тематичних виставках та написання оглядових праць.	Представлення приладу на виставках зв'язаних з неруйнівним контролем, та написання оглядових статей у тематичні журнали
5	Розміри дефектів	Прилади неруйнівного контролю не завжди можуть виявляти дефекти малого розміру	Звертати увагу на можливості приладу виявляти дефекти малих розмірів

В таблиці 7.7 ми визначили фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого проекту, а вигоди які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Проведемо аналіз пропозиції ринку, з метою визначення загальної риси конкуренції на ринку (табл. 7.8).

Таблиця 7.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - олігополія	Існування невеликої кількості компанії, що працюють в даній сфері	Якісна продукція, правильна ціна, якісне обслуговування
2. За рівнем конкурентної боротьби - міжрегіональні	Представники в різних країнах	Вихід на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою	В межах однієї галузі	Зниження цін

- внутрішньогалузева		
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Пропонуються товари одного виду	Реклама, зручний дизайн приладу
5. За характером конкурентних переваг - нецінова	Вартість залежить від ціни на комплектуючі	Вибір оптимального варіанта ціна-якість комплектуючих елементів
6. За інтенсивністю - марочна	Відомі виробники володіють більшими ресурсам і аудиторією клієнтів	Отримання держзамовлень і розширення ринку

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому.

Більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за М. Портером приведений в табл. 7.9.

Таблиця 7.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові і аналізу	Навести перелік прямих конкурентів	Визначити бар'єри входження в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори сили споживачів	Фактори загроз з боку замінників
Висновок: Низький рівень конкуренції дає можливість виходу на ринок	ДП «Тест», «Ультракон - сервіс» Захід прилад	Можливість виходу на ринок за рахунок держзамовлень, та перспективності проекту	Постачальник не має великого впливу на роботу ринку	Клієнт висуває вимоги щодо точності приладу	Відсутні

Проаналізувавши таблицю 7.9 робимо висновок що з огляду на конкурентну ситуацію на ринку можливість роботи на ринку присутня. Також

ми визначили які характеристики повинен мати проект і які дії має проводити компанія, щоб бути конкурентоспроможною на ринку.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

На основі аналізу конкуренції (табл. 7.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 7.2), вимог споживачів до товару (табл. 7.5) та факторів маркетингового середовища (табл. №№ 7.6-7.7) визначимо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз факторів приведений в табл. 7.10.

Таблиця 7.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Універсальність приладу	Запропонований прилад придатний для контролю великого спектру виробів
2	Вартість	Зменшення вартості за рахунок використання вбудованого в мікроконтролер АЦП
3	Сервісне обслуговування	Якісне сервісне обслуговування
4	Вимоги до приладу	Перевірка обладнання на етапі виходу на ринок
5	Енергоспоживання	Зменшення енергоспоживання за рахунок використання мікроконтролера

В таблиці 7.10 на основі аналізу проведеного в таблиці 7.9 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проекту.

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 7.10) проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 7.11).

Таблиця 7.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «вихрострумний дефектоскоп»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з («вихрострумний дефектоскоп»)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Універсальність приладу	18		v					
2	Вартість	14	v						
3	Сервісне обслуговування	10			v				

4	Вимоги до приладу	17		v				v	
5	Енергоспоживання	17				v			

З таблиць 7.10 та 7.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок. Основною перевагою та головним досягненням є невисока вартість та мале енергоспоживання, універсальність, висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Проведемо SWOT-аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 7.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 7.11).

Таблиця 7.12. SWOT- аналіз стартап- проекту

Сильні сторони: Собівартість продукції нижча, ніж в конкурентів. Якісне сервісне обслуговування та консультація. Універсальність приладу. Невисоке енергоспоживання.	Слабкі сторони: Залежність ціни продукту від ціни на комплектуючі елементи Слабкі канали збуту продукції через її специфікацію
Можливості: Отримання держзамовлень Вихід на міжнародний ринок	Загрози: Інфляція

В таблиці 7.12 проводимо перелік сильних та слабких сторін проект. А також ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей який ми складали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Розробимо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок. Та проаналізуємо визначені альтернативи з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 7.13).

Таблиця 7.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап- проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Розробка електричної плати	90%	1 - 2 місяці
2	Розробка програмного забезпечення	90%	1 - 2 місяці

Проводимо аналіз розроблених нами альтернатив ринкового впровадження і з зазначених альтернатив обираємо ту яка має найбільшу ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації. Отже обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

Здійснимо опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 7.14).

Таблиця 7.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Середні підприємства	Висока	90%	80%	Середня
2	Лабораторії	Висока	80%	75%	Середня
Які цільові групи обрано: всі					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свій прилад та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію зростання маркетингу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Визначимо базову стратегію розвитку проекту (табл. 7.15).

Таблиця 7.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Стратегія зростання, Створення спільного підприємства	Один цільовий сегмент	Ціна, Нові ринки,	Спеціалізації

В таблиці 7.15 в залежності від обраного нами сегменту ринку обираємо стратегію розвитку нашого проекту на ринку.

Визначимо стратегії конкурентної поведінки (табл. 7.16).

Таблиця 7.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Компанія шукатиме нових споживачів	Ні	зайняття конкурентної ніші

В таблиці 7.16 проводимо аналіз того як будемо поводити себе в конкурентній боротьбі і в залежності від прийнятих нами рішень обираємо стратегію конкурентної поведінки.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробимо стратегія

позиціонування (табл. 7.17). що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 7.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Універсальність, ціна, точність, якість	На основі специфічних відчутних характеристик	Ціна	Ціна-якість, Низька ціна,

В даній таблиці формуємо комплекс асоціацій за якими споживачі будуть ідентифікувати наш торгівельний проект.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 7.18 підсумуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 7.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Універсальність	Можливість застосування приладу для конкретних задач	Індивідуальна конструкція
2	Низька ціна	Невисока вартість деталей	Узгоджена якість-ціна

Результатом аналізу даної таблиці є перелік ключових переваг нашого товару перед конкурентами, а також переваги які потрібно ще створити.

Розробимо трирівневу маркетингову модель товару: уточняється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 7.19).

Таблиця 7.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Низька ціна, універсальність, невисоке енергоспоживання		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Мінімальна глибина дефекту	від 0,1 мм	Тх
	2. Мінімальний розкрив дефекту	від 0.0021 мм	Тх
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо Розробка за стандартами, тестування		
	Пакування коробка		
	Марка: назва організації-розробника + назва товару ВСПдефектоскопія		
III. Товар із підкріпленням	До продажу Гарантія ,доставка		
	Після продажу Після продажне обслуговування		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: свідоцтво на авторське право			

В таблиці 7.19 ми створюємо трьохрівневу модель нашого товару що включає задум товару та його вигоди, основі характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату.

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 7.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 7.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	~10000грн	~150000грн	800000 грн	40000/70000 грн

В таблиці 7.20 проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замітники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буду встановлена верхня та нижня межа на нашу програму.

Визначимо оптимальну систему збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 7.21):

Таблиця 7.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	По одиночні замовлення Продаж в роздріб	Прямий продаж клієнтам продукції	висока	Проведення збуту власними силами

Було розроблено концепцію маркетингових комунікацій між споживачами та виробниками. В нашому випадку це робота напряму з виробником та реалізації продукту через прямий продаж.

Розробим концепцію маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 7.22).

Таблиця 7.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Гарантія якості Найсучасніші технології	Тематичні журнали, Інтернет	Ціна - якість Проведення виставок	Акцентувати увагу на якісний товар за помірними цінами,	Ціна-якість

				Показати, що товар затребуваний для сучасного ринку.	
--	--	--	--	---	--

Результатом даного підпункту є ринкова програма яка включає концепцію збуту, просування, аналіз ціноутворення, вона залежить від цінностей та потреб потенційних клієнтів, переваги ідеї, стан ринку на якому буде впроваджено проект на даний момент та його динаміку, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку.

Висновки до розділу

Даний проект має можливість ринкової комерціалізації за рахунок наявності попиту на прилади неруйнівного контролю. В ході досліджень було підтверджено рентабельність даного проекту.

У зв'язку з хорошою динамікою ринку на розроблений продукт буде хороший попит у споживачів, і з точки зору рентабельності проект обіцяє бути дуже прибутковим. З огляду на потенційні групи клієнтів перспективи впровадження проекту є дуже високими. Але за рахунок того, що на ринку вже є присутні аналоги продукту який розробляється бар'єр входження на ринок є досить високим. Тому для успішного виходу на нього треба надати нашому продукту властивостей які будуть виділяти його серед конкурентів. На даний момент продукт є конкурентоспроможним але для підвищення довіри споживачів і формування своєї бази клієнтів необхідно:

- Збільшити точність
- Здійснити рекламну компанію
- Працювати над покращенням продукту

Як альтернативний варіант впровадження нашого стартап-проекту для ринкової реалізації проекту доцільно обрати початок продаж нашого продукту в мережі інтернет і для якогось одного сегменту ринку, а тільки після закріплення на ринку вже починати шукати клієнтів в інших сегментах і пропонувати їм наш продукт. Також можна зробити висновок що для розширення ринку подальша імплементація проекту є дуже доцільною.

Надалі є можливості вивести проект на міжнародний ринок. Це обумовлено тим, що прилад даного типу має меншу вартість та невисоке енергоспоживання за рахунок використання ортогонального методу виміру, який дозволяє реалізувати прилад з невисокою вартістю, в порівнянні з існуючими приладами, але точність якого не поступається серійним рішенням.

Висновок

Запропонована структурна схема вихрострумowego дефектоскопу може бути реалізована на мікросхемах DDS синтезаторів частоти AD9834 фірми Analog devices (енергоспоживання яких не перевищує 50 мВт, а розміри складають 5X5мм), мікроконтролерах AVR типу ATmega 64 фірми Atmel, які також мало споживають енергії. Вищезазначене свідчить про те що запропонована схема ВД може мати дуже мале енергоспоживання, малі габарити, і відповідно малу вартість.

У даній роботі проведено дослідження алгоритмів визначення параметрів інформаційного сигналу на запропонованій структурі ВД. В результаті чого було запропоновано квазіортогональний спосіб вимірювання який потребує періодичної зміни фази опорного синтезатора на 90^0 . Використання такого способу реалізації вихрострумових дефектоскопів на базі синтезаторів частоти дозволяє значно підвищити швидкодію дефектоскопу, тому що використовується один вимірювальний канал, похибки якого при визначенні фази повністю компенсуються. Зміна фази на 90^0 потребує виконання однієї команди для зміни значення одного біта на виході мікроконтролера (на відміну від відомих де для визначення фази і амплітуди сигналу потребується виконання багатокрокових алгоритмів).

Для дослідження залежності точності визначення параметрів амплітуди та фази інформаційного сигналу, отриманого у вихрострумовому контролі при використанні запропонованого квазіортогонального методу обробки було проведено моделювання в пакеті програм Matlab, яке підтвердило високу точність визначення вищезазначених параметрів сигналу для різних співвідношень сигнал/шум і підтвердити працездатність приладу навіть при відношенні 0.4.

Було проведено експериментальні дослідження точності ортогонального методу виміру, розроблено макет приладу на серійних приладах, та програмне забезпечення на базі пакету програм labview 2016. Досліджування здійснювалось за рахунок імітації дефектів. Задавався діапазон кутів $0^0, 15^0, 30^0, 45^0$ та вимірювалися різниці фазових зсувів ($1^0 - 5^0$), які задавалися

за допомогою синтезатора (імітувалося знаходження дефекту). Також змінювалась амплітуда та визначалась. Тобто досліджували сам вимірювач.

В результаті проведених експериментальних досліджень, було встановлено, що найменші похибки вимірів різниці фазових зсувів (імітація дефекту) не перевищували 1^0 . Ортогональний метод підтвердив свою ефективність, та показав високі показники точності навіть при 8-ми розрядному АЦП. Дослідження показали, що похибка фактично не змінювалась від абсолютних значень кутів. Запропоноване програмне забезпечення показало свою працездатність і дієздатність запропонованої структури ВД.

Дані дослідження підтвердили можливість реалізації вихрострумового дефектоскопу на мікроконтролерах, з малим енергоспоживанням та вартістю, точність яких не поступається існуючим приладам. Це дає привід до збільшення сфери застосування вихрострумових дефектоскопів.

Список використаної літератури:

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В.Клюева. Т. 2: В 2 кн.: Вихретоковый контроль/ Ю.К.Федосенко, В.Г.Герасимов, А.Д.Покровский, Ю.Я.Останин. — М.: Машиностроение, 2003. — 688 с.: ил.Ермолов И. Н., Останин Ю. А. Методы и средства неразрушающего контроля качества. — М.: Высшая школа, 1988. — 368 с.
2. Герасимов В. Г., Клюев В.В., Шатерников В.Е. «Методы и приборы вихретокового контроля промышленных изделий». М.: Энергоатомиздат, 1983. 242с.
3. Власов К.В., Бобров А.Л. Основы вихретокового неразрушающего контроля, Учебное пособие. — Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2015. — 54 с.
4. Троицкий В. А. Вихретоковый контроль. Учебн. пособие / В. А. Троицкий. -К.:—, «Феникс». - 2011. - с. 148.
5. <http://www.ndt.com.ua>
6. Лазарєв М.І., Шматков Д.І. Неруйнуючий контроль технічних об'єктів у схемах: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. — Харків: ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД», 2012. — 160 с. [фонд НТБ]
7. Пестряков В. Б. Фазовые радиотехнические системы (основы статистической теории) / В. Б. Пестряков. — М. : Сов. Радио, 1968. — 468 с.
8. Вихрострумний амплітудно-фазовий спосіб неруйнівного контролю. Патент України на корисну модель №118164 МПК (2017.01) G01N27/01 від 25.07.2017. Бюл.№14 Баженов В.Г., Гльойнік К.А..
9. Bazhenov V. Increasing of operation speed of digital eddy current defectoscopes based on frequency synthesizer / V. Bazhenov, A. Protasov, K. Gloinik. // Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium (MRRS). — 2017. — №17262272.
10. Цифровий багатфункціональний вихрострумний дефектоскоп. Патент України на корисну модель № **45908** МПК G01N27/00 від 25.11.2009. Бюл.№14 Баженов В.Г., Климашевская В. М., Гльойнік К.А..

11. Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання /В.М.Учанін- Львів: СПОЛОМ,2013,-268с.
12. Уолт Кестер. Проектирование систем цифровой и смешаной обработки сигналов. Москва: Техносфера, 2010.-328с. ISBN978-5-94836-243-4.
13. Ева Мёрфи, Колм Слэттери. Всё о синтезаторах DDS “Компоненты и Технологии”, №1, 2005.
14. А.В. Евстифеев. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «Atmel»-М.: Издательский дом «Додэка-XXI»,2004.-560с.
15. DESIGN FEATURES OF EDDY CURRENT FLAW DETECTORS ON THE MICROCONTROLLERS. SCIENTIFIC PROCEEDINGS NDT DAYS 2016 XXXI International Conference «Defectosopia 16» june 6-10,2016. Sozopol, Bulgaria. Баженов В.Г., Гльойнік К.А.
16. Неразрушающий контроль. В 5кн. Кн.3. Электромагнитный контроль: Практ. Пособие/ В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, В. В. Сухоруков; Под ред. В. В. Сухорукова, -М,; Высш. Шк.,1992.-312с.; ил.
17. Білокур І.П.Основи дефектоскопії: Підручник. – К.: Азімут-Україна, 2004. – 496 с. [фонд НТБ]
18. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля: учеб.пособие. –Владивосток: Изд-воДВГТУ, 2007. –243с. [фонд НТБ]
19. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення. – ДСТУ 2865-94. – К., 1994. – 55 с.
20. Неруйнівний контроль. Кваліфікація і сертифікація персоналу з неруйнівного контролю. Основні вимоги: ДСТУEN 473-2001. – К., 2001. – 21 с.
21. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике /Под ред. Калиниченко А.В.– М.:Инфра-инженерия, 2008. –576с. [фонд НТБ]
22. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник /Под ред. Клюева В.В.– М.: Машиностроение,2005. –656с.
23. Неразрушающий контроль: Справочник: в 8 т./Под общ.ред. В.В.Клюева. Т.2: В 2 кн. Кн.1: А.И.Евлампиев, Е.Д.Попов,С.Г.Сажин, Л.Д.Муравьева,

С.А.Добротин, А.В.Половинкин, Ю.А.Кондратьев. Контроль герметичности. Кн.2: Ю.К.Федосенко, В.Г.Герасимов, А.Д.Покровский, Ю.Я.Останин. Вихретоковый контроль. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2006. – 688 с.

24. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.